

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DETERMINACIÓN ANALÍTICA DE DETERGENTES EN LAS AGUAS DE LOS  
PANTANOS DE VILLA**

Tesis para optar el Título de Licenciada en Química, que presenta la bachiller:

**Carmen Celia Alvarez Gutierrez**

**ASESORA: Dra. Nadia Gamboa Fuentes**

Lima, mayo del 2016

## RESUMEN

Los humedales son uno de los ecosistemas más importantes del mundo debido a sus principales beneficios identificados: ser filtradores naturales de agua y reguladores de los ciclos hidrológico y químico, además son llamados “*mercados biológicos*” por la rica biodiversidad que poseen. La mayoría de las funciones que cumplen los humedales se agrupa en las siguientes tres categorías: función hidrológica, función biogeoquímica y mantenimiento de hábitats y cadenas alimenticias. Actualmente, los humedales están siendo amenazados por efecto de la acción humana y las escasas áreas destinadas a la conservación de humedales, sobretodo en la costa. El deterioro por la acción humana es el principal problema que enfrentan los humedales, sin considerar que una buena conservación no sólo beneficia a la fauna asociada sino también a la población que aprovecha sus recursos y servicios.

El área de estudio de esta tesis son Los Pantanos de Villa ubicados en el distrito de Chorrillos en la región de Lima Metropolitana. Debido a que los pobladores cercanos usan las aguas de los principales canales de abastecimiento a las lagunas como lavaderos domésticos, el objetivo es determinar la concentración de detergentes en las aguas de los principales canales de abastecimiento y de las lagunas de Los Pantanos de Villa para determinar si existe contaminación por este tipo de actividad. Así mismo, se determinan los contenidos de nitrógeno, fósforo disuelto y fósforo total como nutrientes indicadores de eutrofización en las lagunas.

Se tomó muestras durante dos trabajos de campo, el 12 de diciembre del 2013 (época de verano) y el 21 de julio del 2014 (época de invierno). Las muestras fueron preservadas cuidadosamente y los análisis se realizaron mediante técnicas analíticas estandarizadas. Los niveles del pH de las aguas de las lagunas muestran tendencia a la basicidad, la conductividad supera los estándares de calidad ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente para lagos y lagunas de cuerpos lénticos. Las concentraciones de detergentes encontradas en las lagunas Anap y Principal alcanzan niveles considerados tóxicos para la vida acuática. Las concentraciones de nutrientes encontradas (fósforo y nitrógeno total Kjeldahl) conducen a clasificar las lagunas Sur y Anap en un estado hipereutrófico.

FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍAPONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA**

**TÍTULO** : Determinación analítica de detergentes en las aguas de los Pantanos de Villa

**ÁREA** : Química Ambiental

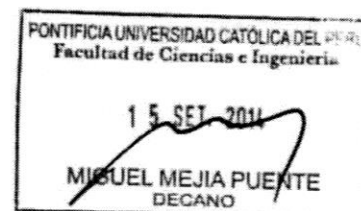
**ASESOR** : Dra. Nadia Gamboa Fuentes

**ALUMNO** : Carmen Celia Alvarez Gutierrez

**CÓDIGO** : 2004.2012.412

**FECHA** : 12 de septiembre de 2014

**NÚMERO** : 203

**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS**

Los humedales son importantes y frágiles ecosistemas distribuidos en el mundo y expuestos a actividades humanas de alto impacto ambiental. Esto altera su función de filtros naturales, reguladores del ciclo hidrológico y reserva de única y rica biodiversidad. Las actividades humanas son causantes del vertido de efluentes domésticos no regulados que aumentan los niveles de nutrientes desestabilizando los ecosistemas, especialmente los humedales que son sistemas muy frágiles. Entre los contaminantes presentes en aguas residuales domésticas están los detergentes, sustancias orgánicas que poseen propiedades limpiadoras, usados en el lavado de vajilla, ropas y en el aseo personal. El ingrediente básico de un detergente es un agente tensoactivo catiónico o aniónico.

La presente tesis propone determinar si existe contaminación del agua de un humedal costero peruano por detergentes aniónicos que son los detergentes más comercializados. El área de estudio seleccionada es Pantanos de Villa en Chorrillos, Lima, en vista de que los principales canales de abastecimiento de esta área natural están siendo usados como lavaderos y depósito de desechos urbanos, con lo cual se acelera la eutrofización de los humedales y se degrada este ecosistema. Se analizará los niveles de parámetros indicadores prioritarios de eutrofización, como nitrógeno y fósforo, en las aguas del humedal por lo cual se diseñará un programa de muestreo para la zona de estudio. Los resultados obtenidos buscan contribuir con información para una mejor gestión ambiental de los Pantanos de Villa.

Máx. 100 páginas

FIRMA DEL ASESOR: .....

FIRMA DEL COORDINADOR:.....

## AGRADECIMIENTOS

Al Dios de la vida, por el amor gratuito manifestado en todas las personas que me apoyaron en esta investigación.

A mis padres, Inés y Víctor, por la motivación, el cariño y apoyo en todos momentos de mi vida. A mi hermano Gustavo, por la amistad y los consejos brindados en todo momento. A mis abuelos, tíos y primos por el apoyo y aliento que siempre me brindan.

A la Dra. Nadia Gamboa, por la confianza, el apoyo, la motivación y por ser más que una asesora, una amiga. Al Dr. Carlos Tavares Corrêa y al grupo GRIDES por permitir que formara parte de un proyecto de investigación, en el cual adquirí experiencia para esta tesis.

Al biólogo Daniel Valle y el trabajador Georgy León, por el permiso, apoyo y sugerencias en la toma de muestras de agua en Los Pantanos de Villa.

A mis amigos y amigas de la UNEC, en especial a Luis Fernando, por su exigencia, acompañamiento y apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos y amigas del Laboratorio de Química Ambiental, Renzo, Natalia, Adolfo, Cecilia, Katiushka y José, por sus consejos y ánimos durante este trabajo de investigación.

Al laboratorio de Análisis Instrumental de la Sección Química PUCP, en especial a Milka, por sus sugerencias y apoyo en el uso de los instrumentos requeridos para esta investigación.

A Francisco Huamán, Nicolás Astoquillca y Gilmer Barrantes por el apoyo logístico para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que no he mencionado, pero que me han apoyado indirectamente en esta investigación. Gracias.



## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Los humedales .....	4
1.1.1	Características .....	6
1.1.2	Función .....	8
1.1.3	Preservación .....	12
1.2	Eutrofización de los humedales .....	13
1.2.1	pH.....	14
1.2.2	Conductividad eléctrica.....	14
1.2.3	Sólidos totales disueltos (STD) .....	15
1.2.4	Fósforo .....	15
1.2.5	Nitrógeno.....	16
1.3	Detergentes .....	17
1.3.1	Función y clasificación.....	17
1.3.2	Detergentes aniónicos .....	19
1.3.3	LAS en el medio ambiente .....	22
1.4	Área de estudio: Los Pantanos de Villa .....	25
1.5	Objetivos.....	29
1.5.1	Objetivo general.....	29
1.5.2	Objetivos específicos.....	29
2	PARTE EXPERIMENTAL .....	30
2.1	Reactivos .....	30
2.2	Instrumentos y equipos .....	31
2.3	Metodología de muestro.....	31
2.3.1	Frecuencia de monitoreo.....	31
2.3.2	Estaciones de muestreo .....	32
2.3.3	Toma de muestras .....	43
2.4	Metodología para el análisis de aguas .....	45
2.4.1	pH y conductividad eléctrica.....	45
2.4.2	Sólidos disueltos totales .....	45
2.4.3	Fósforo disuelto .....	45
2.4.4	Fósforo total .....	46
2.4.5	Nitrógeno total Kjeldahl.....	47
2.4.6	Análisis de detergentes .....	49
2.5	Lavado de material .....	52

2.6 Disposición de residuos .....52

3 RESULTADOS.....53

3.1 Parámetros in situ (pH T, conductividad).....53

3.2 Sólidos totales disueltos .....53

3.3 Fósforo disuelto y total .....55

3.4 Nitrógeno .....56

3.5 Detergentes .....57

3.6 Matriz de correlación .....59

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....61

4.1 pH .....61

4.2 Conductividad.....65

4.3 Sólidos totales disueltos (STD) .....66

4.4 Fósforo disuelto y total .....68

4.5 Nitrógeno total .....72

4.6 Detergentes .....74

5. CONCLUSIONES.....77

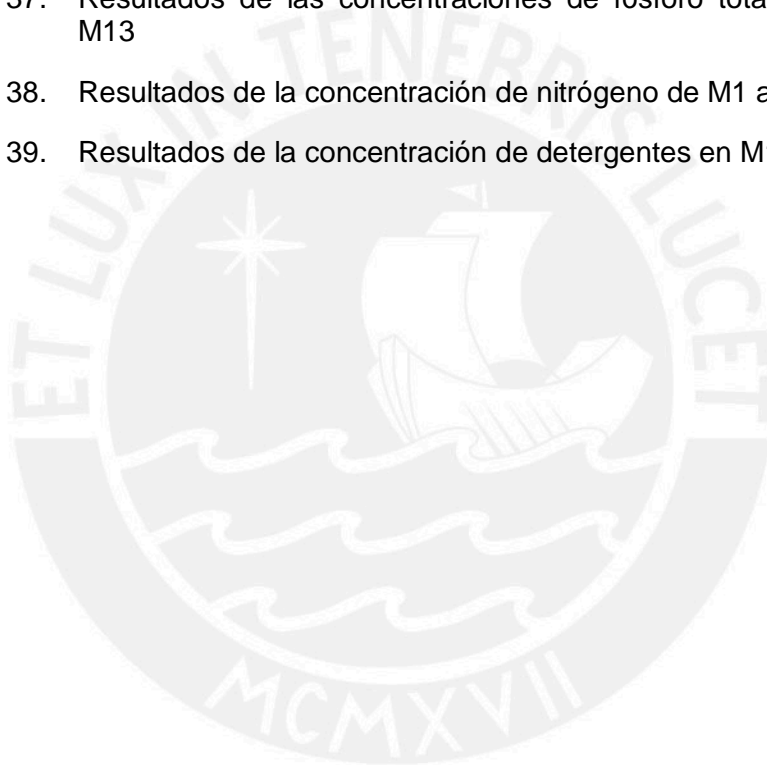
6. RECOMENDACIONES .....78

7. BIBLIOGRAFÍA .....80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistema humedal	4
Figura 2.	Solubilización de las sustancias grasas	19
Figura 3.	Estructuras químicas de ABS y LAS	20
Figura 4	Consumo de detergentes en Lima Metropolitana	21
Figura 5.	Esquema de la biodegradación de LAS	24
Figura 6.	Mapa de Los Pantanos de Villa	27
Figura 7.	Desechos de fibra de vidrio cerca al canal Sangradero	28
Figura 8.	Pobladores lavando ropa a la salida del efluente ubicado en la intersección del Jr. Los Agricultores con Jr. Los Ganaderos, en Chorrillos	28
Figura 9.	Imagen satelital de la ubicación de estaciones de monitoreo	33
Figura 10.	Ubicación de las estaciones de monitoreo	34
Figura 11.	Laguna Sur	35
Figura 12	Laguna Anap	35
Figura 13	Laguna Génesis	36
Figura 14	Laguna Principal	36
Figura 15	Canal Sangradero	37
Figura 16.	Afloramiento	37
Figura 17.	La Lavandería	38
Figura 18.	Esmeralda	39
Figura 19.	Zona del canal cubierto con vegetación	40
Figura 20.	Vistas de la estación de monitoreo 10	40
Figura 21	Vistas de la estación de monitoreo 11	41
Figura 22.	Vistas de la estación de monitoreo 12	42
Figura 23.	Vistas de la estación de monitoreo 13	42
Figura 24	Vista de la toma de muestras de agua	43
Figura 25.	Análisis de fósforo disuelto	46
Figura 26.	Análisis de fósforo total	47
Figura 27.	Determinación de nitrógeno total	48
Figura 28.	Inicio del análisis de detergentes.	50

Figura 29.	Mezcla con el azul de metileno	50
Figura 30.	Extracciones	51
Figura 31.	Curva de calibración para fósforo disuelto	55
Figura 32.	Curva de calibración para la determinación de detergentes	57
Figura 33.	Resultados de pH de las estaciones M1 al M13	61
Figura 34.	Resultados de conductividad de las estaciones M6 a M13	64
Figura 35.	Resultados de STD de las estaciones M1 a M13	66
Figura 36.	Resultados de las concentraciones de fósforo disuelto en M1 a M13	70
Figura 37.	Resultados de las concentraciones de fósforo total en M1 a M13	70
Figura 38.	Resultados de la concentración de nitrógeno de M1 a M13	73
Figura 39.	Resultados de la concentración de detergentes en M1 a M13	75





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Lista de humedales peruanos Ramsar	2
Tabla 2.	Comparación entre suelos de humedales	7
Tabla 3.	Funciones, efectos relacionados, valores sociales e indicadores relevantes de las funciones de los humedales	10
Tabla 4.	Principales tipos de tensoactivos aniónicos	19
Tabla 5.	Propiedades de algunos LAS	21
Tabla 6.	Principales componentes de los detergentes ARIEL® y ACE®	22
Tabla 7.	Concentraciones de LAS en distintos lugares	23
Tabla 8.	Concentraciones de toxicidad, $IC_{50}$ , $EC_{50}$ , $LC_{50}$ y NOEC de una muestra comercial de LAS	23
Tabla 9.	Reactivos y solventes	30
Tabla 10.	Ubicación de las estaciones de muestreo de agua	32
Tabla 11.	Estaciones de muestreo	44
Tabla 12.	Preservación de muestras	44
Tabla 13.	Volumen de muestra según la concentración esperada de MBAS	49
Tabla 14.	Resultados de las medidas de pH, T, conductividad (CE) y sólidos totales disueltos (STD)	54
Tabla 15.	Concentraciones de P disuelto y P total de las muestras de aguas	56
Tabla 16.	Concentraciones de N total Kjeldahl en muestras de aguas	57
Tabla 17.	Concentración de detergentes en las muestras de agua	58
Tabla 18.	Correlación entre parámetros analizados	59
Tabla 19.	Comparación de valores de pH	63
Tabla 20.	Comparación de valores de conductividad	65
Tabla 21.	Concentración de STD según tipo de lago	65
Tabla 22.	Comparación de valores de STD teóricos con los STD obtenidos	68
Tabla 23.	Clasificación de lagos según las concentraciones de P	69
Tabla 24.	Clasificación de lagos según las concentraciones de amoníaco	72

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ABS	Alquilbencensulfonato
APHA	American Public Health Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
EC <sub>50</sub>	Concentración efectiva media
ECA	Estándares de calidad ambiental
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
IC <sub>50</sub>	Máxima concentración que causa 50% de inhibición de la actividad biológica
LAS	Alquilbencensulfonato lineal
LC <sub>50</sub>	Concentración letal media
MBAS	Sustancias activas al azul de metileno
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
NOEC	No observed effect concentration (nivel que no presenta cambios adversos)
SDT	Sólidos disueltos totales

## 1 INTRODUCCIÓN

Un humedal es un ecosistema intermedio entre los ecosistemas acuáticos y terrestres. Debido a su complejidad aún no se le ha podido definir completamente, no solo por la gran distribución geográfica sino también por la variedad de condiciones hidrológicas en que se encuentran (Mitsch y Gosselink, 1993). A pesar de esto, se pueden identificar los principales componentes que lo estructuran, como agua, sustrato o biota, y los procesos que lo regulan, el ciclo de nutrientes, el balance hídrico, la producción orgánica, etc. (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

El instrumento internacional específico para humedales es la Convención Ramsar<sup>1</sup>, el cual se encarga de orientar el desarrollo, el uso y la protección de estos ecosistemas. *“Es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos”* (Secretaría de la Convención Ramsar, 2013). Dicho tratado se adoptó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971, entró en vigencia en 1975 y Perú se adhirió a la Convención en 1991. *“La selección para la Lista de Ramsar debe descansar en la importancia del humedal en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos”* (Secretaría de la Convención Ramsar, 2013). A la fecha, 2056 humedales son considerados como sitios Ramsar. El Perú posee 12 200 lagunas aproximadamente, 95 de las cuales han sido consideradas humedales costeros y de ellos, solo 13 están en la lista Ramsar. En la Tabla 1 se mencionan los humedales peruanos considerados sitios Ramsar (Rojas, 2010).

---

<sup>1</sup> Convention on Wetlands of International Importance, también llamada Ramsar Convention, <http://www.ramsar.org/>

Tabla 1. Lista de humedales peruanos Ramsar (Ramsar, 2012)

<b>Humedal</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Fecha de designación</b>
Paracas	Ica	30-Mar-92
Pacaya-Samiria	Loreto	30-Mar-92
Lagunas de Mejía	Arequipa	30-Mar-92
Lago Titicaca	Puno	31-Dic-96
Lago Junín	Junín	31-Dic-96
Manglares de Tumbes	Tumbes	31-Dic-96
Los Pantanos de Villa	Lima	31-Dic-96
Complejo de humedales del Abanico del río Pastaza	Loreto	05-Jun-02
Bofedales y Laguna de Salinas	Arequipa	28-Oct-03
Laguna del Indio – Dique de los Españoles	Arequipa	28-Oct-03
Humedal Lucre – Huacarpay	Cusco	23-Set-06
Lagunas Las Arreviatadas	Cajamarca	15-May-07
Manglares de San Pedro de Vice	Piura	12-Jun-08

La presente tesis toma Los Pantanos de Villa ubicados en el distrito de Chorrillos, Lima Metropolitana como área de estudio. En base a la clasificación de Ramsar, Los Pantanos de Villa conforman un humedal costero de tipo pantano intermareal salino con una o dos conexiones con el mar (Ministerio de Agricultura 1996). Hace más de sesenta años, la zona era conocida como Las Lagunas de Villa, con una extensión aproximada de 2500 ha (Aranda, 1998). Alrededor de los años 70, en el extremo sur del área se practicaba la agricultura, actividad que fue abandonada por problemas de salinidad y anegamiento. Actualmente el crecimiento urbano no planificado ha reducido la superficie de este ecosistema a 263,27 ha; el área vecina a los pantanos está ocupada por clubes privados, colegios particulares, áreas residenciales y marginales (MINAGRI 1996), lo que está contribuyendo a la contaminación del agua de los principales canales de abastecimiento e incluso de algunas lagunas cercanas a la población. Se puede observar que dichos canales están siendo usados como lavaderos domésticos y depósitos de residuos urbanos.

Los Pantanos de Villa son las únicas áreas naturales protegidas dentro de la ciudad de Lima Metropolitana, lo cual hace que su valor sea mayor. Son utilizados para la

protección de animales, en especial, es refugio para aves migratorias. Desde 1996 se considera que uno de los principales problemas de contaminación de Los Pantanos de Villa es el uso de los canales de abastecimiento del humedal como lavaderos domésticos (MINAGRI 1996), lo cual produce contaminación por detergentes en las lagunas principales de los humedales afectando así la cadena trófica. Además, al contaminar los canales de abastecimiento o algunas lagunas con desechos urbanos, se acelera severamente el proceso de eutrofización y, en consecuencia, se degrada una reserva natural rica en biodiversidad y altamente frágil.

En el 2003 una de las lagunas de Los Pantanos de Villa presentó una coloración rojiza, hecho que fue investigado por el Servicio de Parques de Lima. Se concluyó que dicha coloración procedía de la excesiva concentración de microorganismo del género *Euglena clorophoenicea*, que se caracteriza por la presencia de cromatóforos de color rojo en el interior de su cuerpo y que genera ese color cuando la temperatura ambiental alcanza los 30°C. Se reportó que la causa básica de la excesiva concentración pudo ser el aumento en los niveles de eutrofización (Álvarez y Santiago. 2006).

En el 2002 se determinó que la contaminación ambiental causada por desechos antropogénicos estaba ocasionando una aceleración de la eutrofización, evidenciado en la desaparición de algunos protozoarios sensibles, como *Cyclidium glaucoma*, *Vorticella*, etc., y la aparición de nuevas especies que habitan en ambientes acuáticos contaminados, como *Peranema trichophorum*, *Amoeba proteus*, etc. (Guillén 2002). La eutrofización, proveniente de la palabra griega *eutrophe* que significa “rico en nutrientes”, es el aumento excesivo de nutrientes en el agua lo que ocasiona un exceso de plantas y organismos fotoproductores que consumen el oxígeno disuelto, reducen la diversidad de especies y disminuyen la potencia de los humedales para actuar como filtros naturales (Campbell *et al.*, 2009).

Si bien existen mediciones para determinar la concentración de los nutrientes N y P en las lagunas de Los Pantanos de Villa (DIGESA 2005, 2006), hasta el presente no se ha estudiado la concentración de detergentes en las lagunas. En esta investigación se tiene como hipótesis que la contaminación en los canales ocasionada por los residentes y/o por negocios cercanos podría estar alcanzando a las lagunas de Los Pantanos de Villa. Se determinará si existe contaminación del agua del humedal debido al uso de los canales de abastecimiento como lavaderos domésticos por detergentes aniónicos, específicamente por alquilbencensulfonato



lineal (LAS), que son los tensoactivos más empleados en detergentes comerciales. Además, se determinarán los contenidos de nitrógeno, fósforo disuelto y fósforo total como indicadores de eutrofización. El análisis de este grupo de parámetros determinará si la hipótesis es válida.

## 1.1 Los humedales

Los humedales son ecosistemas que se encuentran entre los ecosistemas acuáticos y terrestres (Committee on Characterization of Wetlands, 1995). Se puede decir que son zonas donde el agua controla el medio, la vida vegetal y la vida animal. Los humedales se presentan en lugares donde la capa freática está en la superficie terrestre o cercana a ella, y en lugares donde la tierra está cubierta por agua. Según el artículo 1.1 de la Convención Ramsar “*son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros*” (Ramsar, 2007).

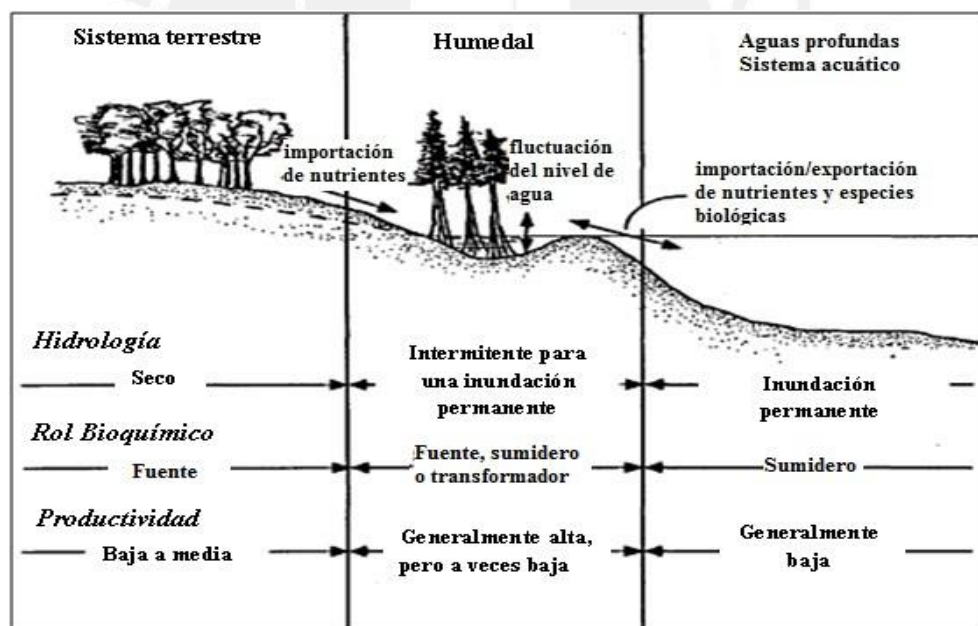


Figura 1. Sistema humedal (Adaptado de Mitsch y Gosselink, 1993)

Los humedales se clasifican según las diferencias en su geomorfología y su hidrogeomorfología (hidrodinámica). El sistema de clasificación de humedales Ramsar considera las siguientes tres grandes categorías de humedales: 1) humedales marinos y costeros; 2) humedales continentales; y, 3) humedales artificiales. Estas categorías no son excluyentes, es decir, un humedal puede

pertenecer a dos o más categorías. Dentro de estas grandes categorías existen subcategorías que permiten definir mejor un tipo de humedal (Jiménez *et al.*, 2010).

Los **humedales marinos y costeros** pueden ser aguas marinas someras permanentes (humedales que tengan menos de 6 m de profundidad en marea baja); costas marinas rocosas, islotes rocosos y acantilados; playas de arena o de guijarros, incluidos las barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; sistemas y hondonales de dunas; estuarios (donde se mezcla agua dulce con agua salada); bajos intermareales de lodo, de arena o con suelo salinos; pantanos y esteros (zonas inundadas con agua dulce o salada); humedales intermareales arbolados incluidos pantanos, manglares y bosques inundados de agua dulce; lagunas costeras salobres/saladas, esto es, lagunas de agua entre salobre y salada con, por lo menos, una conexión al mar relativamente angosta; y lagunas costeras de agua dulce.

Los **humedales continentales** pueden ser lagos permanentes salinos, salobres o alcalinos; lagos y zonas inundadas estacionales o intermitentes, salinas, salobres o alcalinas; manantiales de agua dulce (oasis).

Los **humedales artificiales** pueden ser estanques de acuicultura; estanques artificiales; tierras de regadío, incluidos canales de regadío y arrozales; tierras agrícolas inundadas estacionalmente, incluidos praderas y pasturas; zonas de explotación de sal, esto es, salinas artificiales, salineras, etc.; áreas de almacenamiento de agua, *i.e.*, reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques artificiales; excavaciones: canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros; áreas de tratamiento de aguas servidas, *i.e.*, piletas de sedimentación, piletas de oxidación; canales de transportación y de drenaje, zanjias.

Los humedales poseen características similares de los sistemas acuáticos de aguas profundas, tales como el sustrato anóxico, algas, vertebrados e invertebrados. Sin embargo, los humedales son considerados como una clase distinta, sistemas que se encuentran entre los ecosistemas acuáticos y terrestres. Algunos humedales están aislados de los sistemas de aguas profundas y se mantienen por el agua subterránea y las precipitaciones, como el humedal Fuente de Piedra en España (Mitsch y Gosselink, 1993). Según la clasificación de humedales Ramsar, el Perú posee todos los tipos de humedales marinos y costeros, continentales y artificiales, aunque solo trece son considerados humedales Ramsar (Jiménez *et al.*, 2010).

### 1.1.1 Características

La limnología es la rama de la ecología que estudia los recursos hídricos continentales y los clasifica según diversos criterios. Una de las clasificaciones se basa en el movimiento de las aguas. Según este criterio se pueden clasificar los cuerpos de agua en lénticos y lóticos. (Parra y Valdovinos, 2006). Lótico proviene del latín *lotic* que significa lavado; estos cuerpos poseen un rápido recambio de líquido y un movimiento dinámico y generalmente horizontal de las aguas. Los cuerpos que poseen esta característica pueden ser naturales o artificiales, como ríos, arroyos, estuarios, manantiales, o como los zanjones y canales de riego. Por otro lado, el término léntico proviene del latín *lentus* que significa lento o calmo. Los humedales son cuerpos de agua lénticos ya que poseen un movimiento lento, básicamente dentro de la depresión del terreno donde se ubican, y un recambio lento de líquido. Esta definición también corresponde a los lagos, pozas o charcos (Sánchez, 2008; Parra y Valdovinos, 2006).

Debido a la definición amplia de humedal se pueden confundir otros ecosistemas con humedales. Por ello, la pregunta adecuada es ¿qué características identifican los ecosistemas de humedales y los distingue de otros ecosistemas?

El flujo de agua en un humedal, la frecuencia, duración y profundidad de inundación, son las que determinan los tipos de organismos que viven ahí (Campbell *et al.*, 2009). Es decir, la hidrología de los humedales controla las características abióticas y bióticas presentes; sin embargo, también existe una influencia en la dirección contraria. Por ejemplo, un componente biótico como las plantas depende de la distribución y el movimiento del agua y, a la vez, este componente biótico puede afectar la hidrología aumentando o disminuyendo el nivel de agua (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

La hidrología es el factor que determina los tipos de humedales, en la mayoría de los casos los flujos y los niveles de agua fluctúan a diario, e.g., en los humedales costeros. En otros casos, los niveles de agua varían de un año a otro como por ejemplo, en las praderas. Los humedales pueden existir por inundación de períodos prolongados o por afloramiento de aguas subterráneas y, debido a que los humedales están en la interfaz de los ecosistemas terrestres y acuáticos, son las reservas de agua más importantes del ciclo hidrológico. El límite hidrológico de un humedal es diferente al límite hidrológico de la cuenca que contiene al humedal debido a que el balance hídrico de un humedal necesita una saturación suficiente para mantener el sustrato y la biota característica (Mitsch y Gosselink, 1993).

La descripción de los suelos es fundamental para identificar y delimitar los humedales. Los suelos son cuerpos naturales superficiales de material terroso que contienen materia viva y son capaces de soportar vegetación. Una de las características del suelo es que puede ser cubierto por aguas poco profundas, pero nunca por aguas profundas. En general, se distinguen dos tipos de suelos, los residuales y los transportados. Los suelos residuales se originan cuando los productos del proceso de meteorización de las rocas se acumulan en el sitio en que se van formando. Los suelos transportados se forman de los productos de la desintegración y descomposición de las rocas que son transportados por el agua o el viento (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

Antes se consideraba que los humedales no poseían suelo. Luego, se consideraron muchos humedales como tierras misceláneas, que tienen poco o nada de suelo natural, como las tierras de playas, de pantanos, de manglares, etc. Actualmente, solo las playas son los únicos humedales que se encuentran en la categoría de tierras misceláneas y las zonas que están permanentemente cubiertas por aguas profundas todavía no se considera que tengan suelo (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

Según la Referencia de Base Mundial para Suelos de la FAO, los humedales poseen *“un suelo que es saturado o inundado lo suficiente durante la temporada de cultivo para el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la superficie”*. Los suelos de los humedales son llamados histosoles *“suelos formados en material orgánico”* (IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007), estos se dividen en dos tipos: suelos minerales y suelos orgánicos. Los primeros contienen entre 20% y 35% de materia orgánica, los segundos poseen más de 35% de materia orgánica. En la Tabla 2 se presentan las características de ambos suelos.

Tabla 2. Comparación entre suelos de humedales (Mitsch y Gosselink, 1993)

Características	Suelo mineral	Suelo orgánico
Contenido orgánico	De 20 a 35%	Más de 35%
Carbono orgánico	De 12 a 20%	Más de 20%
pH	Usualmente neutro	Ácido
Densidad	Alta	Baja
Porosidad	Baja (45-55%)	Alta (80%)
Conductividad hidráulica	Alta (excepto las arcillas)	Baja y alta
Capacidad de retención de agua	Bajo	Alto

Los suelos de humedales poseen condiciones anaeróbicas debido a la saturación de los poros que se encuentran entre las partículas del suelo por agua, disminuyendo así la circulación de oxígeno. Sin embargo, la actividad biológica en el suelo que requiere oxígeno se da después de la saturación. Los suelos que están saturados permanentemente por agua son suelos anaeróbicos típicos (el oxígeno libre desaparece y disminuye el potencial de oxidación-reducción). Además, las condiciones anaeróbicas se desarrollan más lentamente en suelos fríos que en suelos calientes. Esto evidencia que la temperatura y los donantes de electrones también influyen en el desarrollo de tales condiciones (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

Como se mencionó antes, la saturación del suelo de los humedales por agua bloquea la entrada de oxígeno, y el oxígeno que entra se agota fácilmente por las poblaciones microbianas y las raíces de las plantas. Las plantas que crecen en suelos anaerobios deben tener adaptaciones especiales que permitan la absorción de nutrientes y agua, mas no de toxinas producidas por la actividad microbiana. Las plantas que poseen estas características de adaptación son plantas o macrófitas acuáticas también llamadas hidrófitas (Committee on Characterization of Wetlands, 1995). Las hidrófitas son plantas vasculares que se encuentran en agua o en suelos saturados, toleran inundaciones y saturaciones durante su crecimiento, es decir, son capaces de crecer en sustratos que periódicamente tienen deficiencia de oxígeno por el alto contenido de agua. Estas poseen varias adaptaciones fisiológicas, como la capacidad de respiración anaeróbica, adaptaciones anatómicas, como la formación de tejidos con espacios grandes, y morfológicas, como las raíces adventicias (raíces que crecen en lugares poco comunes) (Mitsch y Gosselink, 1993).

### 1.1.2 Función

Según la Convención Ramsar, son funciones de los humedales las *“actividades o acciones que tienen lugar de forma natural en los humedales como resultado de las interacciones entre la estructura y los procesos del ecosistema. Las funciones abarcan la regulación de las crecidas; la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; el mantenimiento de la cadena trófica; la estabilización de orillas y control de la erosión; la protección contra las tormentas; y la estabilización de las condiciones climáticas locales, en particular la lluvia y la temperatura”* (Ramsar 2007). La función que cumplen los humedales es propia de los procesos que ocurren en cada tipo de humedal. La mayoría se agrupa en las siguientes tres categorías:



función hidrológica, función biogeoquímica, y mantenimiento de hábitats y cadenas alimenticias; en la Tabla 3 se presentan dichas categorías.

La transformación de nutrientes es una de las funciones principales de los humedales, en especial, el fósforo, el nitrógeno y la materia orgánica, los cuales son indicadores de la eutrofización. El fósforo y el nitrógeno son arrastrados hacia los humedales por la escorrentía producto de las precipitaciones, movimiento de aguas superficiales y de aguas subterráneas y, en el caso del nitrógeno, este también proviene de la atmósfera y es fijado por la actividad microbiana (Mitsch y Gosselink, 1993).

Los nutrientes presentes en los humedales pueden ser exportados mediante infiltraciones, flujos subterráneos y flujos superficiales. El sistema de nutrientes interviene en las cadenas alimenticias y en la producción y descomposición de organismos. Debido a eso, cuando la tasa producción/descomposición es alta, el ciclo de nutrientes es rápido; en cambio, cuando la tasa producción/descomposición es baja, el ciclo de nutrientes es lento (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

Un humedal puede realizar diferentes funciones para diferentes sustancias, por ejemplo, puede ser sumidero de fósforo, fuente de nitrógeno y exportador de carbono. Todos los humedales reciclan nutrientes repetidamente. Son sumideros de nutrientes si muestran la retención neta del nutriente; son fuentes si muestran la pérdida neta del nutriente; son transformadores si cambian el estado de oxidación del nutriente o lo disuelven en forma de partículas. (Mitsch y Gosselink, 1993).

Tabla 3. Funciones, efectos relacionados, valores sociales e indicadores relevantes de las funciones de los humedales (Adaptado de Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

	Función	Efectos	Valor para la sociedad	Indicador
Hidrológica	A corto y largo plazo: superficie de almacenamiento de agua	Reducción de las inundaciones aguas abajo	Reducción de daños de las inundaciones	Relieve topográfico en la llanura de inundación
		Mantenimiento de los caudales y de la distribución del flujo estacional	Mantenimiento del hábitat de los peces durante los períodos secos	
	Mantenimiento del nivel freático alto	Mantenimiento de la comunidad hidrofítica	Mantenimiento de la biodiversidad	Presencia de hidrófitas
Biogeoquímico	Transformación: ciclo de los elementos	Mantenimiento de las reservas de nutrientes en los humedales	Producción de madera	Árbol de crecimiento
	Retención: eliminación de sustancias disueltas	Reducción del transporte de nutrientes aguas abajo	Mantenimiento de la calidad del agua	Salida inferior de nutrientes
	Acumulación de sedimentos inorgánicos	Retención de sedimentos y nutrientes	Mantenimiento de la calidad del agua	Aumento de la profundidad de sedimento.
Hábitat y cadena alimenticia	Mantenimiento de comunidades vegetales características	Alimento y cubierta de anidación para los animales	Las aves acuáticas	Vegetación de los humedales
	Mantenimiento del flujo de energía característico	Apoyo a las poblaciones de vertebrados	Mantenimiento de la biodiversidad	Alta diversidad de los vertebrados

Los humedales purifican el agua porque confinan contaminantes en sus suelos, sedimentos y vegetación. Un humedal ideal puede reducir significativamente los contenidos de fósforo y nitrógeno, asociados con la producción agrícola y las aguas residuales, evitando que no lleguen a las aguas subterráneas utilizadas luego para el consumo humano (Ramsar Convention Secretariat 2010). La característica de los humedales de actuar como filtros biológicos se debe, en gran parte, a la presencia de plantas vasculares acuáticas que tienen la capacidad de eliminar sustancias tóxicas provenientes de pesticidas, residuos industriales y domésticos. Por ejemplo, los tejidos de las plantas flotantes *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), *Lemna* (lenteja de agua) y *Azolla* (helechos de agua) son capaces de absorber los metales pesados, tales como hierro y cobre; esta absorción depende de una gran variedad de factores, la velocidad del flujo de agua, el tamaño del área a tratar, el clima, etc.

Las plantas de crecimiento rápido que tienen sus raíces en los suelos de los humedales, como la *Scirpus californicus* (tatora) y *Phragmites* (carrizo), también tienen gran eficacia para tratar agua contaminada. Estas plantas vasculares, poseen la epidermis muy delgada con el objetivo de favorecer el paso de agua, nutrientes y gases; además, grandes espacios intercelulares que forman varios conductos huecos donde se da el almacenamiento y circulación de oxígeno. Es así como las plantas transfieren el oxígeno a las zonas sumergidas de la raíz y permiten la degradación biológica de contaminantes por los microorganismos (Eifert, 2002; Delgadillo *et al.*, 2010). Algunos animales también pueden ayudar a la purificación del agua; este es el caso de la Bahía de Chesapeake, al este de los EEUU, donde las ostras filtran 200L de agua al día y, además, eliminan sedimentos y contaminantes químicos (Ramsar Convention Secretariat, 2010). Pero también hay que considerar que los humedales no pueden tratar todo tipo de compuestos. Esto se demostró claramente en el desastre ambiental ocurrido en el sur de España, en 1998, donde se vertieron más de 5 millones de metros cúbicos de fango contaminado con metales pesados en el Río Guadiamar, ocasionando daños a los humedales de Doñana, sitio Ramsar (Ramsar Convention Secretariat, 2010).

Los humedales son refugios de vida silvestre y cobran mayor valor en entornos urbanos debido a que proporcionan el único refugio para diversos tipos de fauna. El mantenimiento de la calidad de agua y la presencia de aves acuáticas disminuirán a medida que las superficies de humedales disminuyan. La reducción de humedales en un paisaje reduce considerablemente la biodiversidad presente, debido a que muchos organismos dependen de humedales y de zonas ribereñas. Además, la heterogeneidad del hábitat está estrechamente relacionada con la diversidad de especies, debido a que proporciona una amplia gama de nichos biológicos (Committee on Characterization of Wetlands, 1995).

La fauna mayormente presente en los humedales son las aves acuáticas. Estas pueden hacer uso del ambiente por períodos cortos o largos, según sus necesidades (nidificación, muda del plumaje o crianza). Estas aves han desarrollado diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas para aprovechar al máximo los recursos de los humedales. La presencia y diversidad de aves en el humedal dependen de varios factores: el régimen hidrológico, el tamaño y la heterogeneidad del humedal (pues un mayor tamaño de humedal provee una mayor heterogeneidad ambiental y un mayor número de hábitats). Además, una diversa vegetación provee variedad de alimento y refugio. Entre las aves acuáticas

se encuentran muchas especies migratorias que van en busca de alimento y sitios para nidificar (Blanco, 2000).

### 1.1.3 Preservación

Los humedales constituyen uno de los ecosistemas más importantes del territorio nacional. Su presencia se remonta a la época de las culturas preincas, cuando la población rural los utilizaba para su supervivencia (Ministerio de Agricultura, 1996). Actualmente, los humedales están siendo amenazados por dos aspectos esenciales: *“El deterioro paulatino por efecto de la acción humana y las escasas aéreas destinadas a la conservación de humedales de la costa”* (Jiménez *et al.*, 2010). Estas amenazas surgen debido a que el desarrollo ha sido enfocado sólo desde la perspectiva de la promoción de actividades económicas sin tomar en cuenta la realidad ecológica del país poniendo en peligro la riqueza biológica que posee el Perú, uno de los diez países más megadiversos del planeta (Ministerio de Agricultura, 1996).

Los humedales proveen productos que pueden ser aprovechados de manera sostenible y, por el contrario, su contribución económica está siendo ignorada. Las actividades principales que se pueden aprovechar son las siguientes: confección de artesanías con totora, pesca de especies para consumo humano, producción de algas con fines industriales y desarrollo del ecoturismo para observadores de aves acuáticas. Si se conociera el enorme potencial biológico, hidrológico y turístico de los humedales y fueran gestionados sosteniblemente se daría lugar a una actividad económica que ayudaría al desarrollo de las poblaciones aledañas. Sin embargo, el aumento de la población y la necesidad de uso de las tierras aceleran su extinción (Ministerio de Agricultura, 1996).

Existen algunos humedales considerados por el gobierno como áreas naturales protegidas; pero quedan muchos humedales sin protección y que no son manejados sosteniblemente. En 1996 el Gobierno aprobó la Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú. Esta tiene como objetivo: *“promover la conservación de los humedales orientados a obtener beneficios ecológicos, sociales, económicos, culturales y espirituales como aporte al desarrollo integral del Perú”* (MINAGRI, 1996). Ese mismo año el Perú ratificó la suscripción como país signatario de la Convención Ramsar que establece obligaciones para la conservación de los humedales (Jiménez *et al.*, 2010).

## 1.2 Eutrofización de los humedales

La interacción entre los lagos y los ecosistemas terrestres cercanos, intensificada por la acción humana, provoca el fenómeno conocido como eutrofización (Margalef, 1974). Se define eutrofización como el enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo que no puede ser compensado por eliminación o mineralización total. Las principales categorías tróficas de un cuerpo de agua son las siguientes: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico o hipereutrófico.

- Oligotrófico: Sistemas acuáticos con bajo contenido de nutrientes y baja producción vegetal.
- Mesotrófico: Sistemas acuáticos con características intermedias entre oligotrófico y eutrófico.
- Eutrófico: Sistemas acuáticos con alto contenido de nutrientes y excesiva producción vegetal.

Un cambio de oligotrófico a eutrófico puede comprenderse como un proceso hacia el estado de equilibrio; en cambio, una eutrofización excesiva es un proceso alarmante. Aunque la eutrofización es un fenómeno natural que se produce durante la evolución de los humedales por su naturaleza de sistema léntico, la presencia de actividades humanas cercanas que amenazan al humedal aceleran el proceso de eutrofización (Salas, 1996).

El enriquecimiento de nutrientes es, pues, la causa principal del problema. Por ejemplo, para el crecimiento de plantas acuáticas se necesita una proporción de nitratos y fosfatos de 10/1 N/P. Si se aumenta la cantidad de fosfatos, la planta usará el fosfato sólo mientras haya nitrato disponible y el resto de fosfato quedará en el medio acuático (Salas, 1996). Al recibir los sedimentos una sobrecarga de nutrientes, el humedal se vuelve más productivo de manera gradual. Toda la estructura trófica cambia de forma rápida, el agua se sobrefertiliza (*stress* de nutrientes) y los organismos fotosintéticos se multiplican con rapidez. Cuando mueren los microorganismos, se acumulan en el fondo y las bacterias que los descomponen usan gran parte del oxígeno disuelto. Al suceder esto se pierde la diversidad de especies y disminuye la calidad de agua (Campbell *et al.*, 2009).

Los nutrientes cuyo exceso provocaría un mayor impacto ambiental en los humedales son el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno y el fósforo son los elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos, pero cuando llegan a concentraciones mayores a 0,035 mg P/L y 50 mg NH<sub>3</sub>/L originan eutrofización (Reddy y DeLaunde 2008).



Se genera un trastorno del ecosistema acuífero afectando su flora y fauna. Se proliferan algas unicelulares que provocan un enturbiamiento del agua que, al mismo tiempo, impide la penetración de la luz a las profundidades del humedal, no permitiendo la fotosíntesis en el fondo del agua y, por ende, la no producción de oxígeno libre. Por otro lado, la descomposición de los organismos disminuye la cantidad del oxígeno en el área de contacto agua-sedimento provocando una mineralización incompleta de sustancias orgánicas y se va formando un ambiente anaeróbico en aguas profundas donde proliferan gases como  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Salas, 1996). A medida que aumenta la concentración de estos gases se dificulta alguna forma de vida en el humedal, lo que conlleva al peligro de extinción de las poblaciones acuáticas (RAPAL, 2010).

Además, es necesaria la vigilancia de parámetros como pH, conductividad y sólidos totales disueltos que permiten evaluar el estado del humedal. Los valores de pH indican la presencia o ausencia de algunos nutrientes, los valores de conductividad informan sobre el nivel de disolución de sales en el agua y las concentraciones de sólidos totales disueltos permiten conocer la concentración de iones en el agua.

### 1.2.1 pH

La medida del pH provee información sobre el grado de biodegradación de un cuerpo de agua por presencia de nutrientes. Determinados procesos químicos, como la solubilización de minerales, sólo se dan a determinados valores de pH, así también los cambios en el pH del agua pueden alterar la concentración de otras sustancias modificando su nivel de toxicidad, como por ejemplo: una disminución en el pH del agua puede aumentar la cantidad del mercurio soluble en ella (Marín, 1995).

### 1.2.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de un cuerpo de agua es la capacidad que tiene para transportar la corriente eléctrica. Existe una relación entre el valor de conductividad del agua y los electrolitos que contiene, es decir, el residuo seco. Los valores de conductividad del agua están influenciados por el terreno que atraviesa, debido a la posibilidad de disolución de rocas y materiales que se encuentren en el camino. En general, la conductividad está relacionada con el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, la temperatura, los gases disueltos, el pH y todos los factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto en agua (Marín, 1995).

### 1.2.3 Sólidos totales disueltos (STD)

Los sólidos hacen referencia a la materia disuelta o suspendida en un cuerpo de agua. En el caso de los sólidos totales disueltos son tomados como la carga iónica presente en un cuerpo de agua; es también denominado residuo seco y está conformado por una parte mineral y otra orgánica. En algunos casos se establece una relación entre conductividad y sólidos disueltos en un cuerpo de agua; el total expresado en mg/L es generalmente 0,6 veces el valor de conductividad, expresado en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Marín, 1995).

### 1.2.4 Fósforo

El fósforo se presenta en las aguas naturales y residuales como ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos orgánicos. Estas formas pueden ser solubles en el agua, o bioacumularse en organismos acuáticos. También pueden provenir de la disolución de rocas fosfatadas y de la mineralización de materia orgánica, lo cual retorna el fósforo inorgánico al medio por procesos de descomposición microbiana. Las aguas contaminadas que llegan a los humedales son fuente para generar un proceso biológico donde se originen los fosfatos orgánicos. Estos también se pueden formar a partir de procesos de tratamiento biológico de los ortofosfatos (Carranza, 2001). Además, el uso de fertilizantes y detergentes también contribuyen a la concentración de fosfatos (Roldán & Ramírez, 2008).

Desde el punto de vista limnológico, la forma más importante es el ortofosfato pues es la forma más soluble y es asimilada con mayor facilidad por los organismos y plantas. Por eso, es denominada fósforo soluble reactivo. Los fosfatos son muy reactivos e interactúan con cationes para formar, en condiciones oxidantes, compuestos insolubles que luego precipitan (Roldán & Ramírez, 2008). La producción de fosfatos se inicia en la mineralización de la materia orgánica presente en los sedimentos, es decir, se liberan fosfatos al descomponerse dicha materia. También se puede dar la liberación de fosfatos en las capas superficiales del humedal antes de la sedimentación. La eutrofización ocurre cuando se tienen grandes cantidades de materia orgánica en los sedimentos que provocan exorbitantes concentraciones de fosfatos, los cuales en exceso son tóxicos para los organismos y plantas presentes. Asimismo, estos los liberan en la excreción y suministran grandes cantidades de fosfatos al agua, contaminándola (Roldán & Ramírez, 2008).

### 1.2.5 Nitrógeno

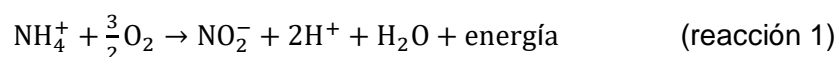
La importancia del nitrógeno en el agua radica en que es el componente principal de las proteínas. Las formas del nitrógeno que más se encuentran en los sistemas acuáticos sin alteraciones, son los nitratos, el ion amonio y, en muy bajas concentraciones, el nitrito (Roldán, 2008).

La eutrofización generada por el nitrógeno se produce cuando las altas concentraciones de nitrógeno orgánico y amoniacal, provenientes de grandes volúmenes de aguas residuales, se oxidan en el lago produciendo excesos de nitritos, nitratos y consumiendo rápidamente el oxígeno disuelto. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH (Carranza, 2001). Las altas concentraciones de nitritos y nitratos resultan tóxicas para la biota presente, y el consumo desmedido de oxígeno en el agua es perjudicial para la supervivencia de las comunidades acuáticas (Roldán, 2008). Además, los microorganismos existentes participan en reacciones de desnitrificación, favorecidas en un sistema acuático eutrofizado, ya que este posee una gran concentración de sedimentos con materia orgánica oxidable. La desnitrificación es un proceso por el cual los microorganismos anaerobios devuelven nitrógeno a la atmósfera en forma de  $N_2$  y  $N_2O$ ; este último es un gas de invernadero (Roldán, 2008).

La pérdida de N inorgánico en los humedales se produce a través de reacciones 1 y 2 de nitrificación y la reacción 3 de desnitrificación y volatilización del nitrógeno (Reddy & Delaune, 2008).

- Nitrificación (conversión de  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ )

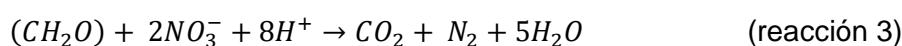
Oxidación de  $NH_4^+$  a  $NO_2^-$  por *Nitrosomas*



Conversión de  $NO_2^-$  a  $NO_3^-$  por *Nitrobacter*



- Destrinificación (Reducción de óxido de nitrógeno a gas  $N_2$ )



### 1.3 Detergentes

Los detergentes son sustancias químicas mayormente orgánicas que poseen propiedades limpiadoras, usados mayormente en el lavado doméstico, lavado de ropa y en productos de limpieza personal. Se caracterizan por no formar sales insolubles con los iones calcio y magnesio presentes en el agua (J. Chem. Educ. Staff. 1978). El primer detergente sintético fue elaborado en Alemania en 1916 durante la Primera Guerra Mundial debido a la escasez de grasas para la elaboración de jabones y por la necesidad de tener un agente de limpieza que no se combinara con las sales minerales del agua. En 1946 se introdujo el primer detergente incorporado; este contenía una mezcla de tensoactivo - constructor. El tensoactivo es el ingrediente básico de limpieza del detergente mientras que el constructor (generalmente compuestos de fosfato) ayuda al tensoactivo a trabajar eficientemente. En la actualidad, los detergentes han reemplazado a los productos a base de jabón; se pueden encontrar en forma líquida, polvo y en barras (Broze 1999.; The soap and detergent association, 1994). Los detergentes contienen más de 25 ingredientes diferentes que se pueden agrupar en las siguientes categorías (Smulders, 2002):

- Tensoactivos (aniónicos, catiónicos, no iónicos, anfóteros)
- Constructores (polifosfatos, silicatos, EDTA, carbonatos, zeolitas, etc.)
- Agentes blanqueadores (perborato de sodio, hipoclorito de sodio), y
- Aditivos (enzimas, perfumes, polímeros, colorantes, inhibidores de corrosión, etc.).

#### 1.3.1 Función y clasificación

Para poder entender cómo actúan los detergentes se debe recordar la propiedad de tensión superficial del agua. La tensión superficial es la propiedad donde la superficie del líquido se comporta como una película elástica, pues las moléculas en la superficie poseen fuerzas intermoleculares que las empujan hacia abajo y hacia los lados, pero no hacia arriba. En consecuencia, las moléculas están siendo atraídas hacia el líquido ocasionando que la superficie se tense como si fuera una película fina elástica. Esta tensión produce el acumulamiento de agua en las superficies dificultando el proceso de limpieza (The Soap and Detergent Association, 1994).

Los tensoactivos, también llamados surfactantes, palabra que deriva de los términos superficie – agente –activo, son moléculas capaces de modificar la propiedad interfacial de los líquidos (Manahan, 2010). En la actualidad, los tensoactivos están hechos de productos derivados del petróleo o de productos derivados de aceites y grasas. La principal característica de esta molécula, como se

Menciona anteriormente, es su carácter anfifílico, es decir, posee una parte hidrófila (cabeza polar o grupo iónico) y una hidrófoba (cadena hidrocarbonada). Ambos grupos le dan a estos productos químicos muchas propiedades; solubilidad, detergencia, reducción de la tensión superficial del agua, resistencia a la dureza del agua, emulsionante, humectante, formación de micelas, etc. (Broze, 1999; Sibila, 2008).

Según el carácter iónico de la parte hidrófila, los detergentes se clasifican en cuatro grupos: aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros. Los más importantes son los aniónicos por poseer mejor acción detergente y mayor eficacia para remover las partículas de suelos. Los catiónicos poseen carga eléctrica positiva; los no iónicos son sin carga, y los anfóteros presentan propiedades aniónicas o catiónicas según el pH del medio (Broze, 1999).

En el proceso de lavado intervienen dos mecanismos importantes, la solubilización y la emulsificación. El primer mecanismo es la solubilización o disolución de las sustancias grasas. Las sustancias grasas o aceitosas (suciedad) no se disuelven fácilmente en agua, por lo tanto, es necesaria la acción de detergentes para eliminarlas. Al combinar detergente con agua, los tensoactivos forman una dispersión de micelas. Estas son asociaciones de moléculas que orientan sus cabezas polares hacia la superficie en contacto con el agua y sus colas hidrofóbicas hacia adentro. En la Figura 2 (ítem 1,2 y 3) se observa que las micelas se difunden en el agua, se fijan sobre la superficie a limpiar y se mezclan con la suciedad. En ese momento, la tensión interfacial se reduce y el conjunto micela-suciedad se libera de la superficie y difunde en el lavado (Chan *et al.*, 1976; Cutel y Kissa, 1987).

El segundo mecanismo de limpieza es la emulsificación. Esta se da en la interfase suciedad/agua y sustrato/agua. En la Figura 2 (ítem 4 y 5) se observa que una vez que la superficie de la grasa está rodeada por varias micelas de tensoactivos se forma una micela grande con la grasa en el centro. Dicha grasa se suspende fácilmente en el agua ya que está rodeada de los grupos polares del tensoactivo, es decir, emulsiona. Con estos dos mecanismos de limpieza los tensoactivos logran separar la suciedad del sustrato (Altmajer, 2004).



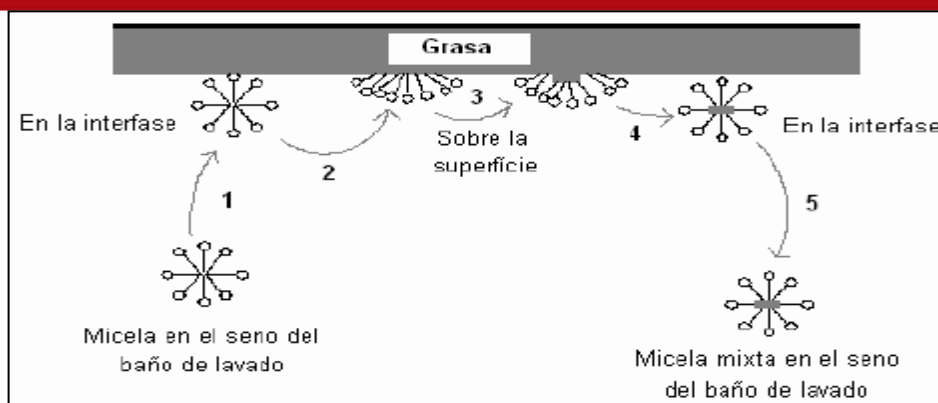


Figura 2. Solubilización de las sustancias grasas (Cutel y Kissa, 1987)

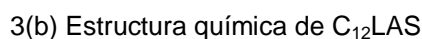
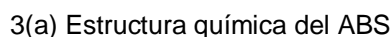
### 1.3.2 Detergentes aniónicos

El segmento aniónico de este tipo de detergentes posee una larga cadena no polar (cadena de carbonos) y una pequeña pero fuerte cadena aniónica. Esta fracción ionizada puede ser un carboxilato, sulfato, sulfonato o fosfato (Broze, 1999). Debido a que no muchos sustratos están cargados negativamente, los detergentes aniónicos son eficaces en remover partículas sólidas. En Tabla 4 se presentan algunos ejemplos de los tensoactivos aniónicos más comunes.

Tabla 4. Principales tipos de tensoactivos aniónicos (Broze, 1999)

	Fracción ionizada	Nombre	Acrónimo
<b>Tensoactivos aniónicos</b>	Sulfatos	lauril sulfato de sodio	SLS
		alquil éter sulfato	AES
	Sulfonatos	alcanos sulfonatos secundarios	SAS
		lineal alquilbencensulfonato	LAS

Los alquilbencensulfonatos son los tensoactivos más importantes en los detergentes comunes. Hasta los inicios de la década de 1960, el alquilbencensulfonato (ABS) fue el tensoactivo más usado a nivel mundial. Su estructura posee una cadena ramificada que causa la resistencia a la biodegradación (ver Figura 3(a)). Debido a esto fueron prohibidos y reemplazados por el alquilbencensulfonato lineal (LAS) que además de ser biodegradable, posee buenas características de detergencia y de formación de espumas (ver Figura 3 (b)). La porción alquílica de LAS no está ramificada y no contiene el carbono terciario que es perjudicial para la biodegradabilidad (Manahan, 2010).



La molécula contiene una parte hidrófila que consiste en un grupo sulfónico polar ( $-\text{SO}_3^-$ ) unido a un anillo aromático en la posición *para* y a la parte hidrófoba con cualquier carbono de la cadena de alquilo lineal de la posición 2 a la 7, excepto con los carbonos terminales. Los detergentes comerciales contienen una mezcla de diferentes isómeros de LAS, con cadenas alquílicas de 10 a 14 átomos de carbono. En total, se pueden encontrar 26 isómeros del alquilbencensulfonato lineal. Al igual que otros tensoactivos, LAS puede interactuar con membranas biológicas; su comportamiento dependerá de sus propiedades moleculares y el tiempo de residencia en el medio en que se descarga (Tolls *et al.*, 2000; Spiker y Waldhodd, 2005). En la Tabla 5 se muestran características de algunos alquilbencensulfonato lineales de 12 carbonos ( $\text{C}_{12}$ ), el más común, y de algunos de cadena lineal entre 10 y 13 carbonos ( $\text{C}_{10}$ - $\text{C}_{13}$ ).

Tabla 5. Propiedades de LAS con C<sub>10</sub> – C<sub>13</sub> (UNEP, 2005)

Aspecto físico	Sólido
Peso molecular de (C <sub>10</sub> - C <sub>12</sub> )	338 - 356 g/mol
Densidad C <sub>12</sub>	1,06 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad C <sub>12</sub>	250 g/L
Punto de fusión (C <sub>10</sub> – C <sub>13</sub> )	274–290°C
Punto de ebullición ( C <sub>10</sub> – C <sub>13</sub> )	630– 665°C

Según la encuesta de CPI (2008) hecha a 450 familias de Lima Metropolitana, las marcas comerciales de detergentes más consumidas son Ariel® y Ace® (Ver Figura 4). En la Tabla 6 se mencionan los principales componentes de estos dos detergentes que tienen alquilbencensulfonato lineal en su formulación. Esta información se obtuvo de la lectura de envolturas de ambos detergentes.

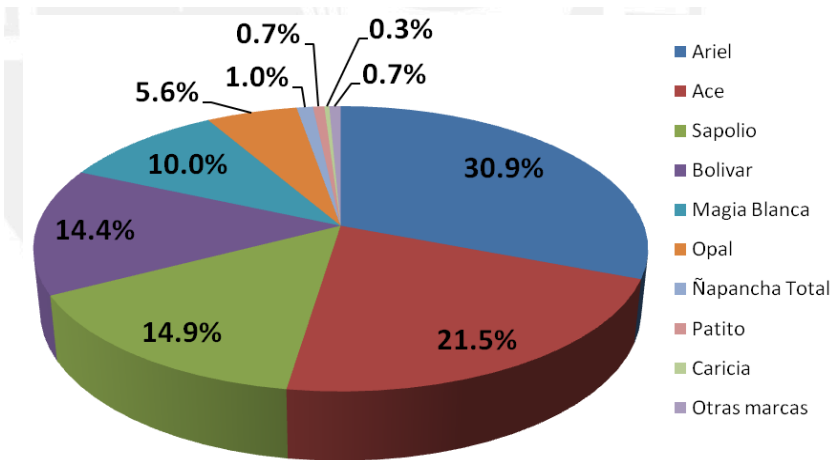


Figura 4. Consumo de detergentes en Lima Metropolitana (CPI, 2008)

Tabla 6. Principales componentes de los detergentes ARIEL® y ACE®

ARIEL®	ACE®
Dodecylbencensulfonato de sodio	Dodecylbencensulfonato de sodio
Sulfato de sodio	---
Agentes de limpieza	Agentes de limpieza
Agentes antirredepositantes	Agentes antirredepositantes
Fragancias	Fragancias
Enzimas	Enzimas
Abrillantadores ópticos	Abrillantadores ópticos
Colorantes	Colorantes

### 1.3.3 LAS en el medio ambiente

La presencia de LAS en el medio ambiente tiene consecuencias desfavorables para los seres vivos. En la Tabla 7 se observa que, en un estudio realizado entre los años 1991 y 1992 en el río Mississippi – EE.UU, se encontró que la concentración de LAS variaba de 0,01 a 20 mg/kg en los sedimentos del fondo y de 0,1 a 28,2 µg/L en muestras de agua. Los resultados indicaron que el LAS se ubicaba principalmente en los sedimentos del fondo y aguas abajo de los desagües de aguas residuales de las principales ciudades (Minneapolis y Ohio). La velocidad de vertido de LAS al río mediante los desagües de hogares e industrias es de 310 m<sup>3</sup>/s, mucho mayor que la velocidad de degradación de la molécula, pues los isómeros del LAS poseen una biodegradación muy lenta, 50% en 2 días (Tabor y Barber, 1996).

En el análisis realizado a aguas marinas de la Bahía de Cádiz - España, lugar que recibe directamente el vertido de aguas residuales de una población aproximada de cien mil habitantes, se encontró que la concentración de LAS en aguas superficiales (3 a 5 mm) es dos veces mayor que a 0,5 m de profundidad. LAS tiene una fuerte afinidad con los sedimentos marinos, debido a la fuerza iónica del medio, la absorción aumenta con la salinidad del agua; esta absorción es prácticamente irreversible (Gonzales- Mazo y Forja, 1998).

En un estudio realizado en el río Balfour, pequeño afluente del río Kat, en Sudáfrica cuyas aguas son utilizadas regularmente por sus pobladores para el lavado de ropa, se encontró concentraciones altas de LAS (342 µg/L) en los puntos de monitoreo cercanos a los lugares de lavado, y concentraciones bajas (11 µg/L) en

los puntos de monitoreo aguas abajo de los lugares de lavado, lo que sugiere que LAS se va degradando y/o diluyendo a lo largo de la ribera (Gordon *et al.*, 2009).

Tabla 7. Concentraciones de LAS en distintos lugares

	<b>Aguas</b>	<b>Sedimentos</b>
Bahía de Cádiz (España), (Tabor y Barber, 1996)	1500 µg/L *	3-10 µg/kg
Río Mississippi (EEUU), (Gonzales- Mazo y Forja, 1998)	0,1 a 28,2 µg/L	10 a 20000 µg/kg
Río Balfour (Sudáfrica) (Gordon <i>et al.</i> , 2009)	11 a 342 µg/L	101 a 176 µg/kg

\*Valor obtenido entre los 3mm y 5mm de profundidad

Existen dos formas cuantitativas para estudiar la relación estructura-actividad vs toxicidad acuática de los tensoactivos. La primera es relacionar la toxicidad de parámetros mensurables que describen las propiedades tensoactivas. La segunda es mediante el parámetro log P siendo P el coeficiente de partición octanol/agua. Esta es una constante de distribución donde el octanol representa un tejido adiposo y el agua a los fluidos de un organismo (Roberts, 2000). En la Tabla 8 se observan los valores  $IC_{50}^2$ ,  $EC_{50}^3$ ,  $LC_{50}^4$  y  $NOEC^5$  de una muestra comercial de LAS en diferentes sustratos.

Tabla 8. Concentraciones de toxicidad,  $IC_{50}$ ,  $EC_{50}$ ,  $LC_{50}$  y  $NOEC$  de una muestra

	<b>Sustrato</b>	<b>Concentración</b>
Toxicidad	Agua	0,1 a 100 mg/L
	Sedimentos	200 mg/kg
$IC_{50}$	Algas	9,1 mg/L
$EC_{50}$	Vertebrados	4,1 mg/L
$LC_{50}$	Peces	3,5 mg/L
NOEC	Pez Tilapia	0,25 mg/L
	Algas	12 mg/L
	Plantas	9 mg/kg

comercial de LAS (UNEP, 2005)

<sup>2</sup>  $IC_{50}$  máxima concentración que causa el 50% de inhibición de la actividad biológica

<sup>3</sup>  $EC_{50}$  concentración efectiva media

<sup>4</sup>  $LC_{50}$  concentración letal media

<sup>5</sup>  $NOEC$  nivel que no presenta efectos adversos



La biodegradación de un tensoactivo se produce cuando se rompe la estructura molecular por enzimas que usan este material como alimento. Tal como se observa en la Figura 5, primero ocurre un cambio en la estructura química del tensoactivo; este cambio resulta de la acción biológica que causa la pérdida de la especificación química y de las propiedades físicas del tensoactivo. El material restante ya no es un agente tensoactivo debido a que no tiene propiedades de superficie activa como generar espumas o reducir la tensión superficial. La biodegradación primaria es el paso más importante pues es cómo los tensoactivos pierden sus propiedades características y, al mismo tiempo, disminuyen su peligrosidad para los organismos del agua. La biodegradación secundaria es la reducción del sustrato a la estructura más simple, causada por ataques enzimáticos en condiciones aeróbicas. Representa el mayor nivel de la degradación y la sustancia se consume por microorganismos para producir carbono, agua y biomasa (Zoller, 2004; AISE 2006).

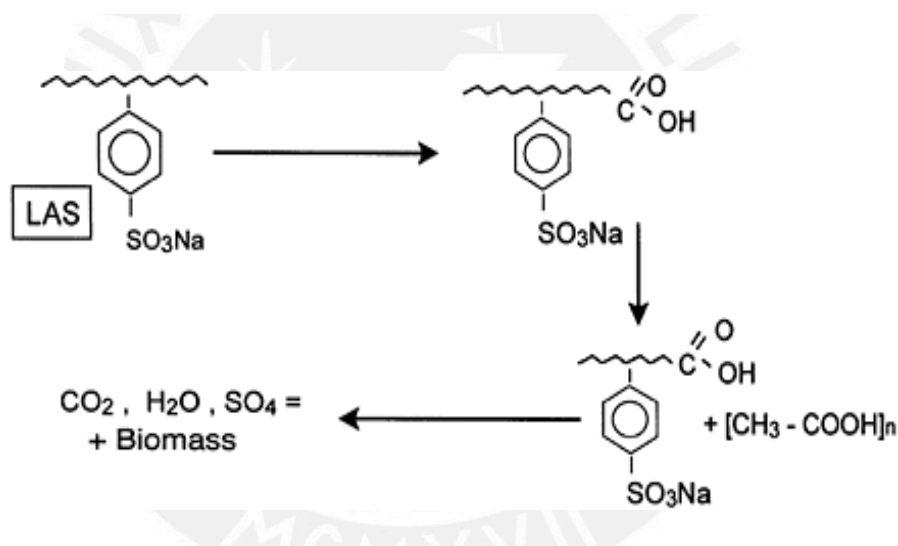


Figura 5. Esquema de la biodegradación de LAS (Zoller 2004)

En investigaciones realizadas por Kruger *et al.*, la tasa de biodegradación de LAS se incrementa en presencia de concentraciones altas de oxígeno disuelto, es decir, en condiciones aeróbicas como las encontradas en pozas de tratamiento de aguas y en aguas superficiales. En este proceso, los compuestos LAS de cadena más larga  $\text{C}_{12}$  y  $\text{C}_{13}$  y sus isómeros 2- y 3-fenil son los que tienen una tasa de biodegradabilidad más alta (2-fenil  $\text{C}_{12}$  degrada dos veces más rápido que 6-fenil  $\text{C}_{12}$ ). En lodos activados y aguas fluviales, el periodo de biodegradación es de 1 a 2 días; en suelos superficiales y subterráneos la biodegradación se da entre 10 y 20 días. En condiciones anaeróbicas ( $< 1 \text{ mg/L}$ ) sólo los LAS de cadena carbonada menor a 12 carbonos son los que se biodegradan (Kruger *et al.*, 1998).

La tasa de degradación en el mar es menor que en aguas continentales superficiales o sub-superficiales pues la degradación depende de propiedades fisicoquímicas del medio, como la temperatura y salinidad. A bajas temperaturas, la biodegradación disminuye debido a que se inhiben las bacterias que actúan en el proceso (Gonzales-Mazo y Forja, 1998). Se puede decir que la velocidad de biodegradación aumenta en dos casos: cuando la distancia del grupo metilo terminal a la posición donde se acopla el grupo sulfo-fenilo es mayor, o cuando se incrementa la longitud de la cadena de carbonos.

En un estudio realizado a truchas arco iris juvenil (*Oncorhynchus Mykiss*) expuestos a LAS de  $C_{10}$  a  $C_{13}$ , la velocidad de captación de LAS se vio afectada por la dureza del agua. Esto indica que las interacciones hidrofóbicas y electrostáticas influyen en la velocidad de absorción de LAS; a mayor dureza del agua (altas concentraciones de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) se reduce la repulsión electrostática, y la velocidad de concentración de LAS será mayor en la interfase agua – pez quedando la interacción hidrofóbica como única interacción. Debido a la perfusión (ingreso de una sustancia de manera sostenida al organismo), existe mayor concentración en los tejidos internos de los peces que en los externos, y los LAS de mayor cadena alquílica, más hidrófobos, fueron los que presentaban más fácil bioconcentración (Tolls *et al.*, 2000).

#### 1.4 Área de estudio: Los Pantanos de Villa

En Lima hay cada vez mayores espacios urbanizados sin caer en cuenta de que existen lugares cercanos donde aún se aprecia la naturaleza; uno de estos paisajes son Los Pantanos de Villa cuyo mapa se encuentra en la Figura 6. Esta es un área natural protegida de administración nacional considerada como un refugio de vida silvestre. Los Pantanos de Villa es un sitio Ramsar y por ello posee ciertas medidas de conservación y protección (SERNANP, 2012).

Los Pantanos de Villa están ubicados en el distrito de Chorrillos de Lima Metropolitana, con una superficie total de 263,27 ha. Se encuentra entre los kilómetros 18 y 21 de la antigua carretera Panamericana Sur (actualmente Av. Defensores del Morro), entre las coordenadas geográficas  $12^{\circ} 11' 42''$  -  $12^{\circ} 13' 18''$  latitud sur y  $76^{\circ} 58' 42''$  -  $76^{\circ} 59' 42''$  longitud oeste (Jiménez *et al.*, 2010).

De acuerdo a la clasificación de humedales de la convención RAMSAR, Los Pantanos de Villa son un humedal de Tipo 8 y de Tipo 10, es decir, pantanos intermareales y lagunas salinas respectivamente, con una o más conexiones al mar. Los Pantanos de Villa se encuentran a orillas del océano Pacífico, poseen un

clima desértico, pero con algunas características de desiertos tropicales asociados con corrientes marinas frías. La temperatura oscila entre los 15 y 26°C durante los meses de octubre a mayo; en los demás meses del año se encuentra entre 14 y 19°C con humedad relativa de 70%. (CDC 1996; Cano y Young, 1998)

El origen de Los Pantanos de Villa se debe al afloramiento de aguas subterráneas que forman lagunas, charcos y terrenos fangosos, y por la cercanía al mar se filtra agua salada. Por ello, el agua de los pantanos es en parte dulce y en parte salada, lo que es razón de la riqueza de su flora y fauna. El agua dulce del pantano proporciona hábitats que son aprovechados por las aves marinas residentes y migratorias (el chorlo semipalmado, el águila pescadora, el halcón peregrino y la gaviota de Franklin), ratones y ranas para anidar, alimentarse, reposar y pasar el invierno, además peces como la tilapia y la lisa. El agua salada proporciona hábitats de hibernación para los gansos, patos (pato alavanco), las pollas (polla de agua), los zambullidores (zambullidor de pico grueso), las gallaretas (gallareta andina) y las garzas (blanca y azul) (Loayza, 2005). Los Pantanos de Villa brindan puquios y pequeñas lagunas que propician la existencia de abundante vegetación oriunda. La vegetación dominante está compuesta por gramíneas, cañas, juncos, totora y carrizo. Los totorales ofrecen zonas de anidación y descanso para aves como el siete colores, el triquero común, y refugio para insectos como mariquitas, arañas y principalmente libélulas (Aranda, 1998).

En general, Los Pantanos de Villa albergan 14 especies de peces, reunidos en doce géneros y siete familias, 119 especies de aves, de las cuales 77 son migratorias, 54 provenientes de Norteamérica, 6 de Sudamérica, 8 de los Andes y 9 de la Amazonía; y 66 especies de flora, entre acuáticas, semi-acuáticas y terrestres (GEO 2005). Debido a toda esta rica diversidad, Pantanos de Villa es un área de inmenso valor en términos biológicos, económicos y de calidad de vida.

Este frágil, único y rico refugio natural para varias especies se puede ver alterado por la contaminación urbana, por ejemplo en la Figura 7 se observa la contaminación por desechos urbanos del canal Sangradero. En la presente tesis se estudia la contaminación por detergentes, provenientes del mal uso de los canales de abastecimiento de las lagunas principales como lavaderos domésticos evidenciado en la Figura 8. Frente a todas estas amenazas, se requiere acción inmediata y continua en pro de la conservación de los humedales, empezando con conocer las bondades que estos brindan si se hace un uso racional y sostenible.

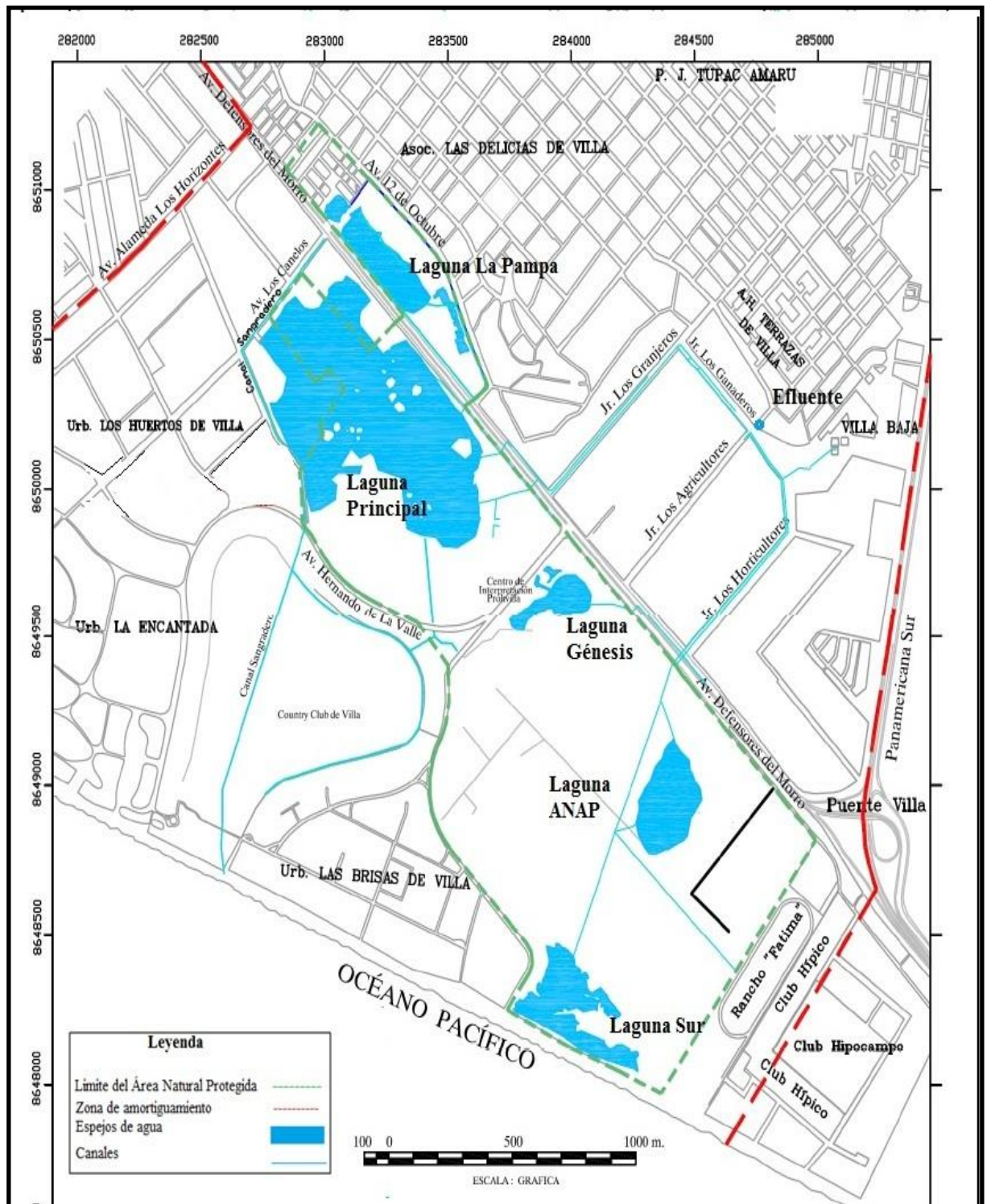


Figura 6. Mapa de Los Pantanos de Villa (Adaptado de SERNANP-RVSLPV, 2010)





Figura 7. Desechos de fibra de vidrio al borde del canal Sangradero (Foto tomada el 11/12/2013).



Figura 8. Pobladores lavando ropa a la salida del efluente ubicado en la intersección del Jr. Los Agricultores con Jr. Los Ganaderos en Chorrillos (Foto tomada el 11/12/2013)



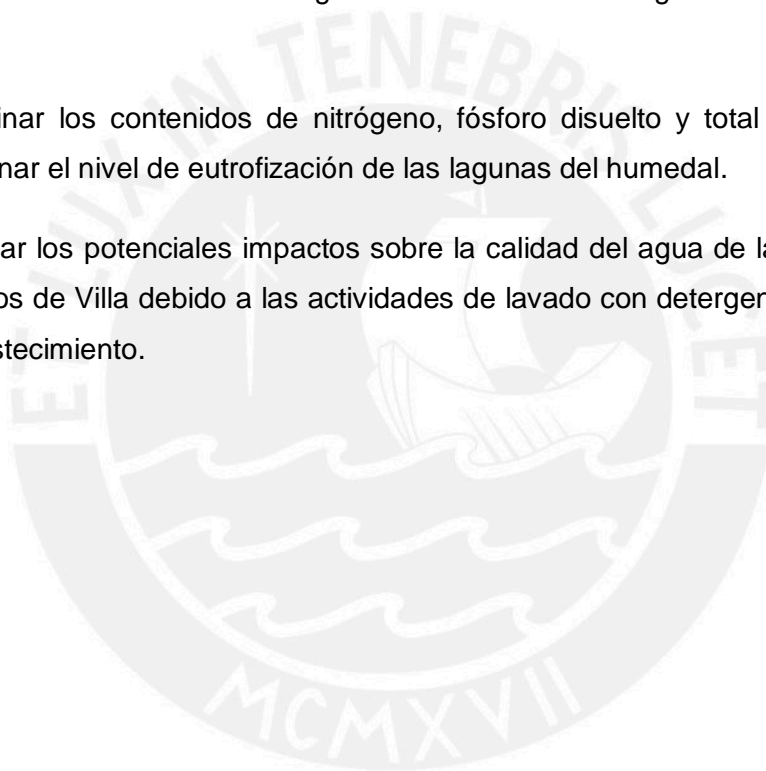
## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diagnosticar la contaminación química de las aguas de los principales canales de abastecimiento de las lagunas de los Pantanos de Villa debido al uso de detergentes aniónicos por la población vecina.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar los niveles de detergentes aniónicos en las aguas de Los Pantanos de Villa.
- Determinar los contenidos de nitrógeno, fósforo disuelto y total en el agua para determinar el nivel de eutrofización de las lagunas del humedal.
- Identificar los potenciales impactos sobre la calidad del agua de las lagunas de los Pantanos de Villa debido a las actividades de lavado con detergente en los canales de abastecimiento.



## 2 PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 Reactivos

Todos los reactivos fueron proporcionados por la Sección Química de la PUCP.

Tabla 9. Reactivos y solventes

Nombre	Fórmula molecular	Grado analítico, %	Marca comercial
alquil bencen ulfonato lineal	$[R^+C_6H_4SO_3^-]Na^+$	99,9	JT Baker
ácido ascórbico	$C_6H_8O_6$	99,90	JT. Baker
ácido bórico	$H_3BO_3$	99,99	JT. Baker
ácido sulfúrico concentrado	$H_2SO_4$	96-98	Merck
ácido clorhídrico concentrado	HCl	90	Merck
azul de metileno	$C_{16}H_{18}N_3SCl \cdot 3H_2O$	99,99	Fisher
biftalato de potasio	$C_6H_4COOHCOOK$	99,99	Mallinckrodt
carbonato de Sodio	$Na_2CO_3$	99,99	Scharlau
cloroformo	$CHCl_3$	99,99	Merck
cloruro de amonio	$NH_4Cl$	99,99	Merck
detergente Extran® neutro	-	-	Merck
etanol	$CH_3CH_2OH$	99,99	Merck
fenolftaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	99,99	Fisher
fosfato de potasio	$KH_2PO_4$	99,99	Merck
fosfato de sodio monobásico monohidratado	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	99,99	Merck
hidróxido de sodio	NaOH	99,99	JT Baker
indicador rojo de metilo	$C_{15}H_{15}N_3O_2$	99,99	Fisher
isobutanol	$(CH_3)_2CHCH_2OH$	99,99	Merck
molibdato amónico	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	99,99	JT Baker
persulfato amónico	$(NH_4)_2S_2O_8$	99,99	JT Barker
peróxido de hidrógeno	$H_2O_2$	>90	Merck
sulfato de potasio	$K_2SO_4$	99,99	Merck
sulfato de cobre	$CuSO_4$	99,99	JT Baker
tartrato doble de potasio y antimonio	$K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot \frac{1}{2}H_2O$	99,99	Riedel
tiosulfato de sodio pentahidratado	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	99,99	Merck

## 2.2 Instrumentos y equipos

Los equipos e instrumentos usados se encuentran en los laboratorios de Química Ambiental y de Análisis Instrumental de la Sección Química de la PUCP.

- Balanza analítica digital calibrada, marca OHAUS, modelo Adventurer™ capacidad máxima de 210 g y sensibilidad de 0,0001g
- Cocinilla marca Thermo Scientific CIMAREC.
- Conductímetro marca Ino Lab modelo Cond 730.
- Detector infrarrojo de temperatura marca UNI-T modelo 302C.
- Espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS Lambda 2.
- Manta de calentamiento marca MI D250 SERCAL S.R.L.
- Multiparámetro Hanna Instruments con electrodos para temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos. Modelo HI 98311.
- Plancha rectangular de calentamiento marca Thermolyne Corp.
- Sistema de digestión y destilación Kjeldahl confeccionado en el Taller de Vidrio de la Sección Química PUCP
- Sistema de posicionamiento global (GPS) GARMIN e-TREX
- Ultrasonido marca Cole-Parmer modelo 08891-26

## 2.3 Metodología de muestro

### 2.3.1 Frecuencia de monitoreo

Se realizaron tres visitas de inspección para solicitar permisos y determinar los puntos de monitoreo. Los muestreos se realizaron en dos estaciones del año; el primero se realizó el 11 de diciembre del 2013, cuando la temperatura comienza a elevarse, el nivel de agua disminuye y las aves migratorias empiezan a llegar. El segundo se realizó el 21 de julio del 2014, mes donde la temperatura es baja, el nivel de agua es mayor y las aves son escasas. Ambos monitoreos se realizaron en compañía y con la supervisión del guardaparque que vigila toda la zona protegida y de amortiguamiento.

### 2.3.2 Estaciones de muestreo

La red de monitoreo se estableció tomando como eje principal la Avenida Defensores del Morro y, a partir de ello, se trazaron paralelas de donde se establecieron los puntos de muestreo en los canales que provienen de la zona urbana y desembocan en las lagunas. Se seleccionaron trece estaciones de muestreo considerando accesibilidad y seguridad, observados de la Figura 11 a la Figura 23. En la primera fecha de muestreo se observó un menor nivel de agua con respecto a la segunda fecha.

En la Tabla 10 se presenta la ubicación de cada estación, en la Figura 9 se observa el entorno y en la Figura 10 se muestran la ubicación de las estaciones de monitoreo.

Tabla 10. Ubicación de las estaciones de muestreo de agua

Estaciones de muestreo		Sistemas de coordenadas, UTM.
		Zona 18L
<b>M1</b>	Laguna Sur	283631,92E, 8647918,30S
<b>M2</b>	Laguna Anap	284185,74E, 8648449,76S
<b>M3</b>	Laguna Génesis	283717,95E, 8649321,01S
<b>M4</b>	Laguna Principal	283375,60E, 8649553,85S
<b>M5</b>	Canal Sangradero	282552,99E, 8650155,38S
<b>M6</b>	Afloramiento	284511,47E, 8649818,59S
<b>M7</b>	La Lavandería	284852,38E, 8649765,56S
<b>M8</b>	Esmeralda	284716,06E, 8649457,25S
<b>M9</b>	Canal a la salida del Camal	284440,11E, 8649205,21S
<b>M10</b>	Dren izquierdo	284234,85E, 8649062,17S
<b>M11</b>	Dren derecho	284227,75E, 8649071,57S
<b>M12</b>	Canal hacia la Laguna Génesis	284077,55E, 8649233,69S
<b>M13</b>	Canal hacia la Laguna Principal	283658,85E, 8649652,03S





Figura 9. Imagen satelital de la ubicación de estaciones de monitoreo



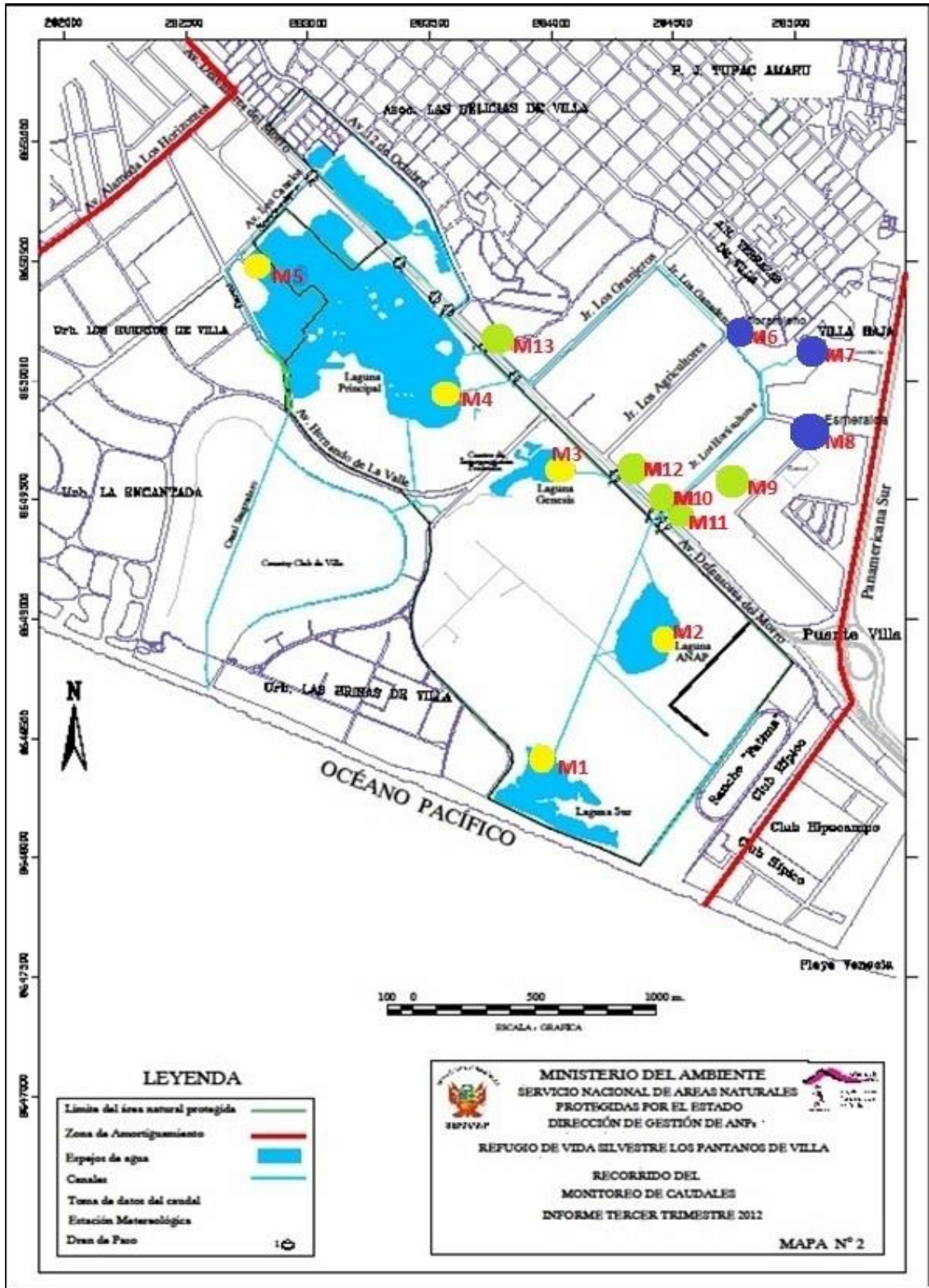


Figura 10. Ubicación de las estaciones de monitoreo (Adaptado de SERNANP-RVSLPV, 2010)

### 2.3.2.1 Estación M1: Laguna Sur

En la Figura 11 se observa el primer punto de monitoreo, el cual se ubica en la entrada de la laguna Sur, aproximadamente a unos 160 m de la playa Marvilla.



Figura 11. Laguna Sur. Izquierda: Canal que conecta a la Laguna Sur. Centro: Vista de la Laguna Sur. Derecha: Presencia de aves en la laguna en el primer muestreo (Foto tomada el 11/12/2013).

### 2.3.2.2 Estación M2: Laguna Anap

El segundo punto de monitoreo es la laguna Anap observado en la Figura 12, esta laguna no forma parte del circuito turístico de Los Pantanos de Villa. Se ubica aproximadamente a 440 m de la Av. Defensores del Morro y 820 m de la orilla de la playa Marvilla. Para acceder a ella se caminó aproximadamente 15 minutos tramo adentro hasta llegar a un borde seguro. En el recorrido se observó la presencia de pequeños espejos de agua y ausencia de aves. En el primer muestreo el acceso fue más complicado debido a la crecida de los totorales al borde de la laguna.



Figura 12. Laguna Anap. Izquierda: Vista de la Laguna Anap. Derecha: Borde de la laguna donde se tomaron las muestras de agua en el primer muestreo (Foto tomada el 11/12/2013).



### 2.3.2.3 Estación M3: Laguna Génesis

El tercer punto de muestreo es la laguna Génesis, el cual se observa en la Figura 13. Esta laguna se encuentra aproximadamente a 110 m de las oficinas de Prohvilla y a 150 m de la Av. Defensores del Morro, es la más accesible y se puede recorrer en bote.



Figura 13. Laguna Génesis. Izquierda: Toma de muestras en la Laguna Génesis. Derecha: Vista de la Laguna Génesis en el segundo muestreo (Foto tomada el .21/07/2014).

### 2.3.2.4 Estación M4: Laguna Principal

El cuarto punto de muestreo es la laguna Principal, observada en la Figura 14; esta es la laguna más grande de los Pantanos de Villa y posee varios canales de abastecimiento que pasan por la zona urbana además de estar a aproximadamente 200 m de la Av. Defensores del Morro.



Figura 14. Laguna Principal. Izquierda: Presencia de aves en la laguna en el primer muestreo (Foto tomada el 11/12/2013). Vista de la Laguna Principal en el segundo muestro (Foto tomada el 21/07/2014).

### 2.3.2.1 Estación M5: Canal Sangradero

En la Figura 15 se observa el quinto punto de monitoreo, que también pertenece a la laguna Principal y está a 1 km de la estación M4. Se tomaron muestras de agua en la zona donde el canal Sangradero alimenta a la laguna Principal. Dicho canal corre por un costado de la laguna, trae aguas de la laguna ubicada a 480 m de la laguna Principal, cruzando la Av. Defensores del Morro, cruza el Country Club de Villa y sus aguas desembocan en la playa Marvilla. En el primer muestreo, los totorales estaban muy crecidos en comparación con la segunda fecha de muestreo



Figura 15. Canal Sangradero. Izquierda: Toma de muestras en el canal Sangradero. Derecha: Zona de la Laguna Principal que conecta con el canal (Foto tomada el 11/12/2013).

### 2.3.2.1 Estación M6: Afloramiento

El sexto punto, observado en la Figura 16, fue ubicado a la salida de un tubo que conecta con un pozo de aguas, a aproximadamente 730 m de la Av. Defensores del Morro. El pozo está cercado y es difícil el acceso; el tubo dirige las aguas hacia el canal que se conecta luego con las aguas que provienen de la zona La Lavandería (ver 2.3.2.7); sigue su recorrido por el Jr. Los Horticultores y llega a un dren que conecta a las lagunas Sur y Anap. Se pudo observar que la población cercana hace uso de esas aguas para el lavado de ropa y abreviar sus ganados ovino y porcino



Figura 16. Afloramiento. Izquierda: Pozo de agua. Centro: Tubo que conecta el pozo con el canal. Derecha: Joven lavando ropa en el canal (Foto tomada el 11/12/013).



### 2.3.2.2 Estación M7: La Lavandería

En la Figura 17 se observa el séptimo punto de muestreo, el cual pertenece a la zona conocida como La Lavandería, ubicada aproximadamente a 340 m de la estación M6 y 970 m de la Av. Defensores del Morro. Es ahí donde los pobladores realizan los lavados de ropa con el agua que aflora del subsuelo, además, la Municipalidad de Chorrillos construyó una mesa circular de cemento que los pobladores utilizan al momento de realizar el lavado de ropa. El canal se conecta luego con las aguas que provienen de la zona afloramiento, sigue su recorrido por el Jr. Los Horticultores y llega a un dren que conecta a las lagunas Sur y Anap. En ambos muestreos se pudo observar alrededor de 10 pobladores haciendo uso de estas aguas: mujeres lavando ropa, hombres limpiando carros y niños jugando en el canal. En la primera fecha de monitoreo se observó mayor presencia de vegetación sobre las aguas del canal; en la segunda fecha se observó, a la margen derecha, la presencia de una estructura en construcción que, según pobladores, pertenece a la Municipalidad de Chorrillos y sería usada como oficinas descentralizadas.



Figura 17. La Lavandería. Superior izquierda: Zona llamada La Lavandería. Superior derecha: Pobladores lavando ropa. Inferior izquierda: vegetación presente en diciembre 2014 (Foto tomada el 11/12/2013). Inferior derecha: Estructura en construcción supuestamente de la Municipalidad de Chorrillos (Foto tomada el 21/07/2014).



### 2.3.2.3 Estación M8: Esmeralda

El octavo punto de monitoreo fue en la zona conocida como Esmeralda, observado en la Figura 18, ubicado a 380 m aproximadamente de la estación M7 y a 720 m de la Av. Defensores del Morro. Este es un afloramiento de agua en suelo pedregoso que forma un arroyo y luego un canal que pasa por un camal avícola clandestino y se une con un canal principal formando uno más caudaloso que desemboca en la laguna Anap. En la primera fecha de monitoreo el acceso estuvo obstaculizado por los grandes totorales, pero en la segunda fecha se pudo acceder a la zona sin dificultades.



Figura 18. Esmeralda. Izquierda: Presencia de grandes totorales en la zona Esmeralda en la primera fecha de muestreo (Foto tomada el 11/12/2013). Derecha: Toma de muestras en la segunda fecha de muestreo (Foto tomada el 21/07/2014).

### 2.3.2.4 Estación M9: Canal a la salida del Camal

El noveno punto de muestreo está a aproximadamente 450 m de la estación M8 y 720 m de la Av. Defensores del Morro. La Figura 19 muestra la estación M9, esta se encuentra en un canal de agua que previamente ha recorrido por el camal clandestino y se une con un canal principal que desemboca en la laguna Anap. Este canal se encuentra dentro del terreno del camal y, para acceder fue necesario solicitar permiso al vigilante. En las dos fechas de monitoreo se observó el canal cubierto con mucha vegetación.



Figura 19. Zona del canal cubierto con vegetación en la primera fecha de muestreo  
(Foto tomada el 11/12/2013)

#### 2.3.2.5 Estación M10: Dren izquierdo

En la Figura 20 se observa el décimo punto de muestreo, que se encuentra a aproximadamente 7m de la Av. Defensores del Morro, exactamente en la intersección del margen izquierdo del Jr. Los Horticultores y la Av. Defensores del Morro. Las aguas que afloran en Esmeralda forman un canal que atraviesa el camal y se conectan con otro canal mayor, las aguas de este canal mayor atraviesan por el dren que conecta con un canal que desemboca en la laguna Sur, pero que en su camino se conecta con otro canal que desemboca en la laguna Anap. Se observó que los pobladores usan las aguas que pasan por el dren para lavado de carros, tubérculos que luego son comercializados en los mercados de la zona y para la bebida de ganado ovino y porcino.



Figura 20. Vistas de la estación de monitoreo M10. Izquierda. Dren que conecta los canales. Derecha: Pobladores lavando papas con las aguas del canal (Foto tomada el 21/07/2014)

### 2.3.2.6 Estación M11: Dren derecho

El undécimo punto de muestreo se encuentra aproximadamente a 12 m de la Av. Defensores del Morro, en la intersección del margen derecho del Jr. Los Horticultores con la Carretera. A diferencia de la estación M10 este canal se origina por contribuciones de la zona de afloramiento (M6) y La Lavandería (M7). Las aguas del canal atraviesan el dren que conecta con un canal que desemboca en la laguna Sur, pero que en su camino se conecta con otro canal que desemboca en la laguna Anap. En la Figura 21 se muestra la estación M11 donde se observó que los pobladores usan las aguas para bebida de ganado ovino y porcino



Figura 21. Vistas de la estación de monitoreo M11. Izquierda: Dren hacia las lagunas Sur y Anap. Centro: Vegetación presente en los bordes del canal. Derecha: Ganado ovino presente en el canal (Foto tomada el 11/12/2013).

### 2.3.2.7 Estación M12: Canal hacia la laguna Génesis

El duodécimo punto de muestreo fue un dren hacia la laguna Génesis, mostrado en la Figura 22. Está ubicado aproximadamente a 18 m de la Av. Defensores del Morro. Las aguas que discurren por el dren provienen del canal que recorre la margen derecha del Jr. Los Horticultores y desembocan en la Laguna Génesis. Se pudo observar la presencia de mucha vegetación, en particular, lentejas de agua, sobre el canal en la primera fecha de muestreo.





Figura 22. Vistas de la estación M12. Izquierda: Inspección del área antes de la toma de muestras. Derecha: Dren hacia la laguna Génesis (Foto tomada el 11/12/2013)

#### 2.3.2.8 Estación M13: Canal a la Laguna Principal

En la Figura 23 se observa el último punto de monitoreo, el dren a la laguna Principal. El dren recibe aguas del canal que pasa por la margen derecha del Jr. Los Ganaderos, pasa por delante de antigua fábrica Lucchetti (hoy en día depósito de Kimberley Clark) muy cercana a un grifo de combustibles. En la primera fecha se observó una rejilla en el canal para evitar el paso de los desechos y mayor presencia de vegetación sobre el agua; en la segunda fecha se observó varios desechos sólidos y la falta de rejilla cerca al dren.



Figura 23. Vistas de la estación de monitoreo M13. Izquierda: Dren hacia la laguna Principal en la primera fecha de muestreo (Foto tomada el 11/12/2013). Derecha: Presencia de desechos sólidos en el segundo muestreo (Foto tomada el 21/07/2014).

### 2.3.3 Toma de muestras

En la Figura 24 se observa el procedimiento de toma de muestras realizadas en las fechas de monitoreo. Se usó botellas de polietileno de alta densidad de un litro, previamente enjuagadas varias veces con el agua a muestrear, para recoger tres litros de agua superficial en total en cada estación. Ambos muestreos se realizaron entre las 9 a. m. y la 2 p. m., y el tiempo entre tomas de la misma muestra fue máximo de 10 minutos teniendo cuidado de no remover sedimentos. Cada botella fue rotulada según la procedencia de la muestra, el día y la hora en la que fue tomada. En la Tabla 11 se presentan los datos de las muestras tomadas y en la Tabla 12 se indican las condiciones de preservación de las muestras según los parámetros a determinar



Figura 24. Vista de la toma de muestras de agua. Izquierda: Enjuague de botella con la muestra a tomar. Derecha: Traslado de las muestras al laboratorio (Foto tomada el 11/12/2013)



Tabla 11. Estaciones de muestreo

Estaciones de muestreo		Hora de muestreo	
		Fecha: 11/12/2013	21/07/2014
<b>M1</b>	Laguna Sur	10:00	09:25
<b>M2</b>	Laguna Anap	10:42	10:03
<b>M3</b>	Laguna Génesis	12:53	12:28
<b>M4</b>	Laguna Principal	13:21	13:20
<b>M5</b>	Canal Sangradero	09:25	08:40
<b>M6</b>	Afloramiento	12:45	12:07
<b>M7</b>	La Lavandería	12:20	11:40
<b>M8</b>	Esmeralda	12:03	11:29
<b>M9</b>	Canal a la salida del Camal	11:41	11:08
<b>M10</b>	Dren izquierdo	11:17	10:57
<b>M11</b>	Dren derecho	11:05	10:36
<b>M12</b>	Canal hacia la Laguna Génesis	13:05	12:52
<b>M13</b>	Canal hacia la Laguna Principal	13:49	13:44

Tabla 12. Preservación de muestras (Marín, 1995)

Parámetro	Condiciones/ aditivos	Tiempo máx. de almacenamiento
Detergentes	Refrigeración a 4°C	48 horas
Nitrógeno	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2); Refrigeración	28 días
Fósforo	Refrigeración a -10°C	48 horas
Conductividad eléctrica	Refrigeración a 4°C	28 días

## 2.4 Metodología para el análisis de aguas

### 2.4.1 pH y conductividad eléctrica

Para la medición del pH se utiliza un multiparámetro marca Hanna Instruments con sensores para temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos. Se calibra el electrodo de pH con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10, se enjuaga tres veces con agua destilada y, finalmente, se procede a medir el pH en las muestras. Las lecturas son realizadas por triplicado.

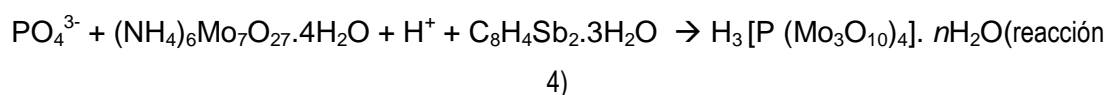
La conductividad eléctrica es medida con un conductímetro marca Ino Lab modelo Cond 730. Se calibra el instrumento con una solución estándar de KCl 0,3 M y luego se procede a medir la conductividad de las muestras. Las lecturas son realizadas por triplicado.

### 2.4.2 Sólidos disueltos totales

Se determinan los sólidos disueltos totales siguiendo la norma APHA 2540 C. Se filtran 100 mL de muestra haciendo uso de una bomba de vacío. Se toman 50 mL del filtrado obtenido, se colocan en un crisol previamente pesado ( $P_A$ ) y se lleva al horno a 105°C por aproximadamente un día, hasta que toda el agua evapore, luego se deja que enfríe en el desecador a temperatura ambiente y se procede a determinar su peso ( $P_B$ ). Finalmente, se restan ambos pesos ( $P_A - P_B$ ) y se obtiene el valor de sólidos disueltos totales expresado en mg/L.

### 2.4.3 Fósforo disuelto

Para determinar la cantidad de fósforo disuelto o disponible en aguas se sigue el método APHA 4500 P E que consiste en la reacción entre los iones fosfato y molibdato amónico en medio ácido, en presencia de tartrato de K y Sb. Esto da lugar a la formación del ácido fosfomolibdico (ver reacción 4) que luego es reducido por el ácido ascórbico, generando una coloración azul debido al molibdeno que es detectable en el rango UV. El método posee un límite de detección de 0,01ppm y podría sufrir interferencias de arseniatos, cromo hexavalente y nitritos.



Se preparan las siguientes soluciones: solución de tartrato doble de potasio y antimonio (1,371 g de tartrato en 500 mL de agua destilada), solución de molibdato amónico al 4% (20 g de molibdato en 500 mL de agua destilada), solución de ácido

ascórbico (0,88 g de ácido ascórbico en 100 mL de agua destilada) y solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2.5M (13,8 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (CC) en 100 mL de agua destilada).

Luego se toman 50 mL de muestra de agua y se agregan unas gotas de fenolftaleína; si el agua se colorea a rosado, se neutraliza con algunas gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2.5M. Aparte se prepara el reactivo de color, observado en la Figura 25, el cual consiste en 50 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2.5M, 5 mL de solución de tartrato de potasio y antimonio, 15 mL de solución de molibdato de amonio y 30 mL de ácido ascórbico. Si la mezcla presenta un color azulado o verdoso deber ser desechada, pues es signo de presencia de fosfatos debido a alguna contaminación en los materiales o reactivos. Se agrega 8 mL del reactivo de color a los 50 mL de muestra problema y se mide la absorbancia a 880 nm después de 10 minutos, pero no más de 30 minutos.



Figura 25. Análisis de fósforo disuelto. Izquierda: Reactivo de color. Derecha: Coloración de las muestras antes de ser medidas en el UV (Foto tomada el 04/08/2014).

Previamente se realizan varias lecturas para verificar la longitud de onda de trabajo de 880 nm y se construye una curva de calibración en el rango de 0,01 ppm y 2,5 ppm con estándares de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

#### 2.4.4 Fósforo total

La determinación de fósforo total se analiza mediante el método APHA 4500-P B5. Este consiste en dos pasos principales, el primero es una digestión de las muestras de agua con persulfato amónico convirtiendo todas las diferentes formas de fósforo presentes (incluido el fósforo reactivo, fósforo ácido hidrolizable y fósforo orgánico) en ortofosfatos disueltos. El segundo es la detección de ortofosfatos los cuales son susceptibles a la determinación espectrofotométrica mediante el método utilizado para fósforo disuelto. Ambos pasos se pueden observar en la Figura 26.

Se colocan 50 mL de muestra en un vaso de precipitado de 100 mL, se agregan unas gotas de fenolftaleína y, si el color cambia a rosado, se agregan una gotas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5M para neutralizar. Aparte se prepara una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (31 mL de

$\text{H}_2\text{SO}_4$  (CC) en 100 mL de agua destilada). Se añade 1 mL de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 0,4 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  sólido, se mezcla y se lleva a ebullición en una placa calefactora hasta que reduzca su volumen a 10 mL; para una completa digestión se requieren dos horas aproximadamente. Luego de obtener el volumen deseado, se deja enfriar, se agregan 30 mL de agua destilada y se alcaliniza con NaOH 1N hasta conseguir un pH entre 7 y 8. En algunos casos aparece un precipitado blanco, posiblemente fosfato de calcio, que puede redisolverse. Finalmente, se enrasa la muestra a 50 mL y se lleva a detección según por el método 4500 P E.

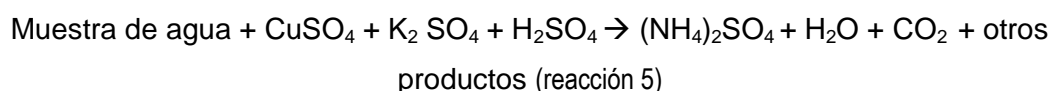


Figura 26. Análisis de fósforo total. Izquierda: Digestión de muestras. Centro: Muestras antes de agregar el reactivo de color. Derecha: Muestras antes de la medición (Foto tomada el 04/08/2014).

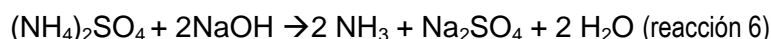
#### 2.4.5 Nitrógeno total Kjeldahl

Se determina el contenido de nitrógeno total Kjeldahl usando la norma ASTM 3590-89. El nitrógeno total Kjeldahl es el contenido de nitrógeno en el amoníaco libre más otros compuestos de nitrógeno que son convertidos en sulfato de amonio en el proceso de digestión. Este método es para muestras con contenido de nitrógeno mayor a un 1ppm. Se lleva a cabo una digestión de los compuestos nitrogenados en medio ácido en presencia de sulfato de potasio y un catalizador de sulfato de cobre. La materia orgánica presente se oxida a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , y se desprende  $\text{NH}_3$  que se transforma en sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  no volátil (reacción 5). La disolución digerida se alcaliniza con la solución de hidróxido de sodio y tiosulfato sódico formándose nuevamente  $\text{NH}_3$  (reacción 6) que, mediante destilación, se fija en una solución de ácido bórico. Finalmente, el amonio se determina por titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01M.

Digestión:



Destilación:





Previamente se preparan las siguientes soluciones: solución de digestión (267 g de  $K_2SO_4$ , 400 mL de  $H_2SO_4$  (cc) y 0,5 g de  $CuSO_4$ ), solución de NaOH y  $Na_2S_2O_3$  (500 g de NaOH y 25g de  $Na_2S_2O_3$  en 1L de agua destilada) y la solución de ácido bórico (20 g de  $H_3BO_3$  en 1 L de agua destilada). En la Figura 27 se observa el procedimiento para la determinación de nitrógeno. Se inicia al colocar 50 mL de muestra de agua en el balón Kjeldahl, luego se agrega la solución de digestión y se lleva a una manta de calentamiento por aproximadamente 2 horas. Media hora después de aparecer los humos blancos de  $SO_3$  se detiene la digestión y se deja enfriar. El líquido viscoso de color amarillento se endurece y es difícil disolverlo al agregar agua destilada; por ello se usa el ultrasonido lo que facilita su disolución. Seguidamente se trasvasa la solución a un balón de reacción y se agregan 10mL de la solución de NaOH y  $Na_2S_2O_3$  para alcanizarla ( $\sim$ pH 10). Se conecta inmediatamente con el sistema de destilación y se recibe el  $NH_3$  en un matraz con solución de ácido bórico. Finalmente, se agregan unas gotas de indicador mixto y se titula con ácido sulfúrico



Figura 27. Determinación de nitrógeno total Kjeldahl. En sentido horario desde izquierda superior. Inicio de digestión de la muestra. Presencia de humos blancos ( $SO_3$ ) mediante la digestión. Formación de cristales blancos antes de la destilación. Proceso de destilación. Comparación de muestras antes (verde) y después (rosado) de la titulación. (Foto tomada el 12/08/2014).



#### 2.4.6 Análisis de detergentes

Para la determinación de detergentes en muestras de agua se utiliza el método APHA 5540 C, el cual consiste en la detección de sustancias activas al azul de metileno, (MBAS), usando al  $C_{12}$ LAS como estándar. Este método colorimétrico es el más usado para la determinación de detergentes aniónicos en aguas naturales y aguas residuales; posee un límite de detección de 10  $\mu\text{g/L}$  MBAS o 0,01 ppm MBAS.

Antes de analizar las muestras de agua, se realizan ensayos con diferentes concentraciones de  $C_{12}$  LAS (0,5; 1; 1,5 y 2 ppm) para disminuir fuentes de error y mejorar la calidad de los resultados. Luego, se procede a analizar las muestras de agua tomadas en las estaciones de muestreo del área de estudio. En la Tabla 13 se muestran el volumen de muestra de agua a analizar según la concentración de MBAS mg/L esperada. Para conocer la cantidad necesaria de muestra se realizan análisis esperando una concentración alta en todos ellos. Con esos resultados se determina el volumen necesario de muestra para su correcto análisis.

Tabla 13. Volumen de muestra necesaria según la concentración esperada de MBAS

Concentración de MBAS esperada (ppm)	Volumen de muestra (mL)
0,025–0,080	400
0,08 – 0,40	250
0,4 – 2,0	100

El método comprende tres extracciones sucesivas en cloroformo, seguido de un lavado, para finalmente medir la intensidad del color azul del compuesto formado en un espectrofotómetro a 652 nm de longitud de onda. Antes de realizar las lecturas en el espectrómetro UV-Vis se construyeron varias curvas de calibración en el rango de 10  $\mu\text{g}$  y 200  $\mu\text{g}$  de LAS. El alquilbencensulfonato lineal ( $C_{12}$ LAS) es el surfactante aniónico más usado por lo que se le emplea como estándar en el método. Los surfactantes aniónicos más usados responden a este método, incluyendo los surfactantes del sulfonato ( $\text{RSO}_3^-$ )  $\text{Na}^+$ , del sulfato éster ( $\text{ROSO}_3^-$ )  $\text{Na}^+$  y los surfactantes no iónicos sulfatados (Greenberg 1992).

Se coloca el volumen de muestra necesario en una pera de decantación y se añaden unas gotas de peróxido de hidrógeno al 30% para evitar la decoloración del

azul de metileno por sulfuros. Se agregan unas gotas de fenolftaleína y se lleva a medio alcalino con NaOH 1M hasta viraje de color de la solución a color rosado, luego se agrega  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5M hasta que el color rosado desaparezca. En la Figura 28 se observan estos dos pasos primeros.



Figura 28. Inicio del análisis de detergentes. Izquierda: Muestras de agua con NaOH y fenolftaleína. Derecha: Muestras de agua con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . (Foto tomada el 05/08/2014)

Seguidamente se agregan 10 mL de cloroformo y 25 mL de la solución de azul de metileno, se agita por 30 segundos y se deja reposar para que se separen las fases. Si se forma emulsión, tal como se observa en la Figura 29, se agrega alcohol isopropílico en una cantidad menor a 10 mL y se agrega la misma cantidad a todos los estándares. Al agregar la solución de azul de metileno, el pigmento catiónico azul de metileno se combina con el surfactante aniónico y forman un complejo inmisible en agua el cual es extraído de la fase acuosa con cloroformo.



Figura 29. Mezcla con el azul de metileno. Derecha: Formación de emulsión. Izquierda: Extracción de detergentes (Foto tomada el 05/08/2014).

Se repite la extracción dos veces más usando 10 mL de cloroformo cada vez; los extractos son recibidos en otra pera de decantación de menor tamaño, como se muestra en la Figura 30. Se juntan todos los extractos y se agrega 50 mL de una solución de lavado, se agita y se espera hasta que las fases se separen. Se descarga la fase de cloroformo mediante un embudo con filtro de lana de vidrio a una fiola de 50 mL. Se agregan dos veces 10 mL de cloroformo, se filtra y se juntan todos los extractos en la fiola. Finalmente se lava el embudo y la lana de vidrio con cloroformo y se enrasa la fiola.



Figura 30. Extracciones. Izquierda: Primera extracción. Derecha: Segunda extracción (Foto tomada el 05/08/2014)

A partir de las concentraciones de  $LAS_{muestra}$ , correspondientes a las absorbancias leídas de las muestras, se obtiene la concentración de MBAS, siguiendo la ecuación 1:

$$\frac{mgMBAS}{L} = \frac{\mu g \text{ de } LAS_{muestra}}{T_{muestra}} \quad (\text{ecuación 1})$$

donde  $T_{muestra}$  = volumen de muestra tomada para la extracción, en mL.

## 2.5 Lavado de material

El lavado de todo el material de vidrio es primordial para minimizar interferencias y riesgos de contaminación, este se realiza siguiendo la norma ASTM-D3974-09. El material se remoja en baldes de 20 L con solución Extrán® neutro, libre de fosfatos, por un tiempo aproximado de 12 horas, luego se procede a enjuagar varias veces con agua destilada, y se deja remojando por 12 horas más en un balde con solución de HCl 1:1; finalmente, se enjuaga el material con agua destilada varias veces.

## 2.6 Disposición de residuos

Los residuos ácidos acuosos se almacenan en botellas ámbar de 5 L con tapa hermética y debidamente rotulados. Los residuos de cloroformo se almacenan en botellas de vidrio ámbar de 5 L y rotulados debidamente según el análisis que se realizó, pues es un reactivo controlado. Todos los residuos se envían al Almacén Central de la Sección Química, y ellos cumplen con procedimientos para la disposición final de residuos tóxicos. Los residuos sólidos no contaminados son almacenados en bolsas de plástico negras y desechadas con los residuos generales; en el caso de los residuos sólidos contaminados, son almacenados en bolsas de plástico negras debidamente rotuladas y entregadas al Almacén Central de la Sección Química.



### 3 RESULTADOS

Los Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA) emitidos por el Ministerio del Ambiente mediante Decreto Supremo N° 015-2015 MINAM clasifican al agua de acuerdo al tipo de uso que se le da. Las aguas de Los Pantanos de Villa se encuentran en la Categoría 4: Conservación de ambiente acuático; y en ella en la subcategoría E1: Lagos y Lagunas. En esta subcategoría se encuentran todas las aguas en estado léntico, incluyendo humedales (Ministerio del Ambiente 2015). En esta investigación se tomaron muestras de agua en cuatro de las cinco lagunas de Los Pantanos de Villa y en cuatro canales superficiales que conectan la zona urbana con dichas lagunas.

#### 3.1 Parámetros: Temperatura, pH, Conductividad y Sólidos Totales disueltos.

En la Tabla 14 se presentan los resultados de las mediciones de temperatura, pH, conductividad y sólidos totales disueltos de las muestras de agua en los dos muestreos. Cada parámetro fue medido por triplicado.

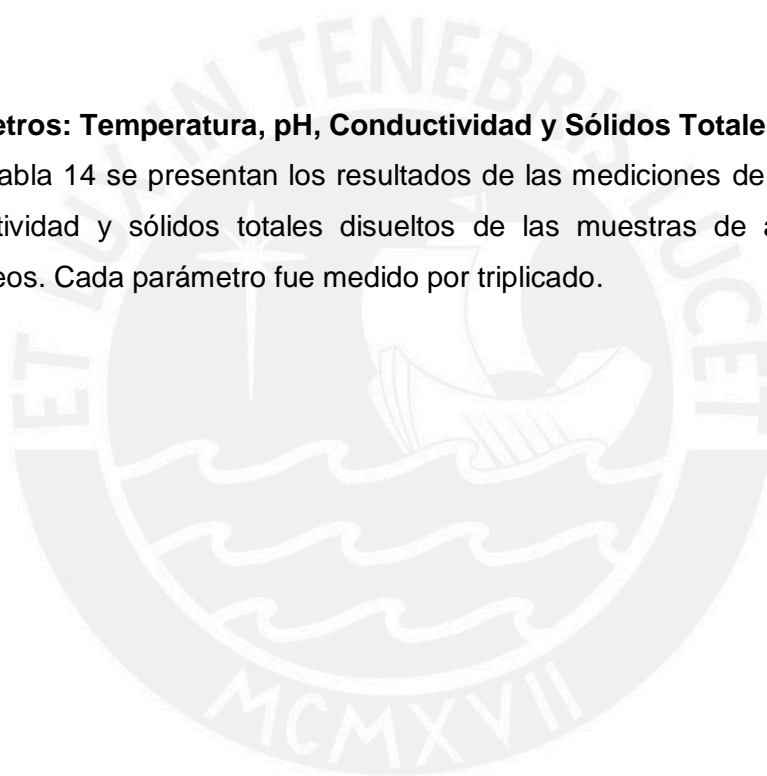




Tabla 14. Resultados de las medidas de pH, T, conductividad (CE) y sólidos totales disueltos (STD)

	Diciembre 2013				Julio 2014			
	T(°C)	(pH)	CE(mS/cm)	STD(ppm)	T(°C)	(pH)	CE(mS/cm)	STD(ppm)
<b>M1</b>	24,23 ± 0,01	7,48 ± 0,01	7,14 ± 0,02	4253,91 ± 2,04	19,53 ± 0,08	7,58 ± 0,00	14,84 ± 0,03	7921,12 ± 3,21
<b>M2</b>	23,81 ± 0,01	7,50 ± 0,01	4,75 ± 0,01	2246,43 ± 1,29	19,42 ± 0,04	7,29 ± 0,02	3,61 ± 0,02	1749,23 ± 2,83
<b>M3</b>	23,10 ± 0,02	7,82 ± 0,01	6,56 ± 0,01	3901,32 ± 2,93	19,40 ± 0,02	7,33 ± 0,02	2,41 ± 0,00	1207,53 ± 1,09
<b>M4</b>	23,51 ± 0,01	7,72 ± 0,02	9,62 ± 0,03	4504,26 ± 3,02	19,42 ± 0,02	7,08 ± 0,01	9,03 ± 0,01	4561,21 ± 2,05
<b>M5</b>	23,41 ± 0,01	8,90 ± 0,02	10,61 ± 0,01	5606,56 ± 2,92	19,51 ± 0,02	7,19 ± 0,02	10,37 ± 0,04	5241,34 ± 2,23
<b>M6</b>	23,62 ± 0,02	8,03 ± 0,01	5,01 ± 0,01	3032,61 ± 1,20	19,72 ± 0,02	7,49 ± 0,01	3,83 ± 0,02	1967,23 ± 1,34
<b>M7</b>	22,94 ± 0,01	7,49 ± 0,01	2,68 ± 0,08	2524,72 ± 3,29	19,61 ± 0,01	7,30 ± 0,01	2,40 ± 0,02	1204,45 ± 2,58
<b>M8</b>	22,91 ± 0,01	7,20 ± 0,02	5,17 ± 0,07	2783,35 ± 1,50	19,52 ± 0,02	7,06 ± 0,01	5,08 ± 0,02	3450,23 ± 1,03
<b>M9</b>	23,51 ± 0,01	7,37 ± 0,01	4,91 ± 0,05	2474,81 ± 2,09	19,42 ± 0,01	7,30 ± 0,01	3,18 ± 0,01	1486,21 ± 1,82
<b>M10</b>	23,92 ± 0,02	7,49 ± 0,01	3,63 ± 0,08	1717,02 ± 1,67	19,51 ± 0,02	7,66 ± 0,01	3,37 ± 0,01	1678,54 ± 1,29
<b>M11</b>	24,51 ± 0,02	7,44 ± 0,00	5,03 ± 0,01	2488,04 ± 1,84	19,71 ± 0,01	7,10 ± 0,01	4,02 ± 0,06	1949,03 ± 1,73
<b>M12</b>	22,91 ± 0,01	7,55 ± 0,01	4,18 ± 0,04	2002,63 ± 2,16	19,62 ± 0,01	7,41 ± 0,02	3,72 ± 0,01	1862,05 ± 2,57
<b>M13</b>	23,01 ± 0,01	7,45 ± 0,02	8,20 ± 0,01	4941,84 ± 2,02	19,23 ± 0,01	7,60 ± 0,01	3,28 ± 0,02	1570,45 ± 1,83

### 3.2 Fósforo disuelto y total

Se utilizó la curva de calibración presentada en la Figura 31 para la determinación de la concentración del fósforo disuelto, usando como estándar a  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en un rango de 0,005 a 1 ppm.

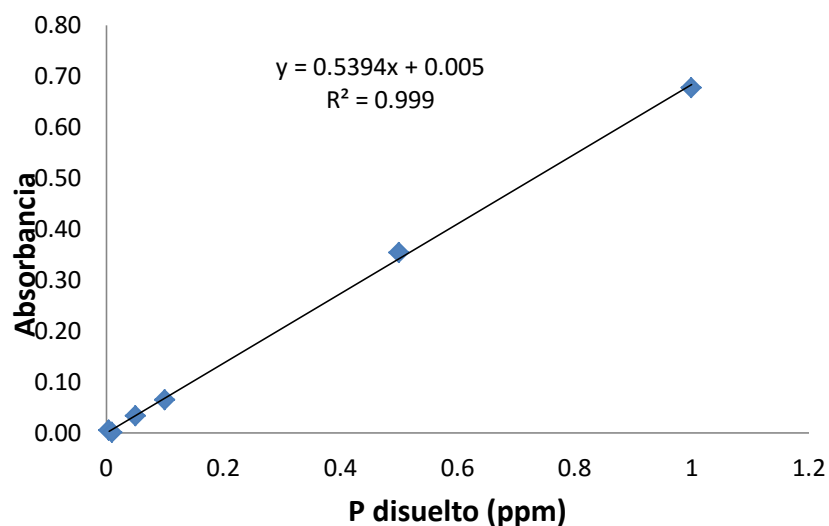


Figura 31. Curva de calibración para fósforo disuelto,  $\lambda = 880 \text{ nm}$

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos para los análisis de fósforo disuelto y fósforo total en las muestras de agua de los canales de abastecimiento y las lagunas de los Pantanos de Villa. El promedio y la desviación estándar provienen de tres réplicas.

Tabla 15. Concentraciones de P disuelto y P total de las muestras de aguas

Estación	Descripción	Diciembre 2013		Julio 2014	
		P <sub>disuelto</sub> (ppm)	P <sub>total</sub> (ppm)	P <sub>disuelto</sub> (ppm)	P <sub>total</sub> (ppm)
M1	Laguna Sur	0,491 ± 0,002	6,781 ± 0,006	0,221 ± 0,006	5,052 ± 0,003
M2	Laguna ANAP	0,222 ± 0,009	4,552 ± 0,005	0,162 ± 0,002	3,932 ± 0,001
M3	Laguna Génesis	0,032 ± 0,001	0,361 ± 0,002	0,001 ± 0,001	0,287 ± 0,002
M4	Laguna Principal	0,021 ± 0,001	2,923 ± 0,004	0,014 ± 0,002	0,862 ± 0,002
M5	Canal Sangradero	0,162 ± 0,004	4,241 ± 0,004	0,051 ± 0,000	2,461 ± 0,003
M6	Afloramiento	0,032 ± 0,001	1,372 ± 0,003	0,023 ± 0,000	1,083 ± 0,001
M7	Lavandería	1,313 ± 0,006	21,202 ± 0,006	0,351 ± 0,004	16,301 ± 0,006
M8	Esmeralda	1,751 ± 0,008	32,644 ± 0,003	1,001 ± 0,002	19,042 ± 0,003
M9	Canal a la salida del camal	1,262 ± 0,003	18,642 ± 0,002	0,223 ± 0,002	4,964 ± 0,001
M10	Canal hacia la laguna ANAP	0,353 ± 0,004	5,091 ± 0,001	0,301 ± 0,003	4,551 ± 0,003
	Canal hacia la laguna Sur y ANAP	0,143 ± 0,003	1,671 ± 0,003	0,112 ± 0,001	3,262 ± 0,005
M12	Canal hacia la laguna Génesis	0,172 ± 0,002	2,584 ± 0,005	0,381 ± 0,002	7,934 ± 0,002
M13	Canal hacia la laguna Principal	0,012 ± 0,001	1,893 ± 0,002	0,014 ± 0,001	0,822 ± 0,001

### 3.3 Nitrógeno

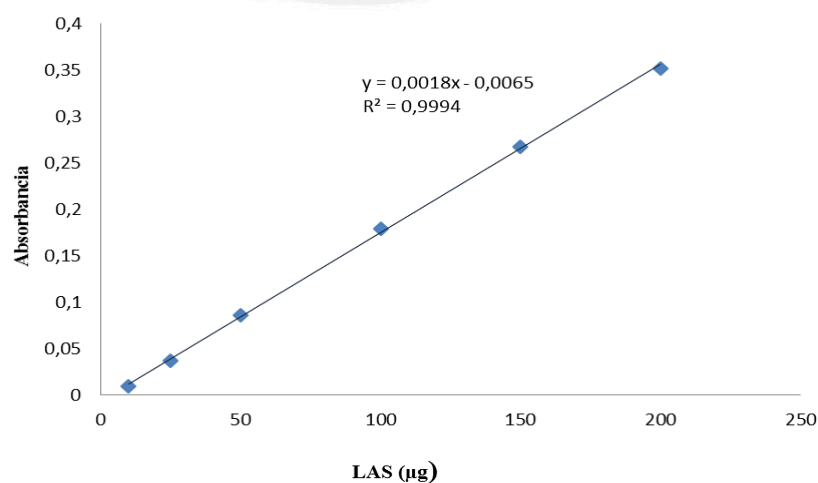
Los resultados para nitrógeno total se presentan en la Tabla 16; el promedio y la desviación estándar provienen de tres réplicas.

Tabla 16. Concentraciones de N total Kjeldahl en muestras de aguas

Estación	Descripción	Diciembre 2013	Julio 2014
		N <sub>total</sub> (mg/L)	N <sub>total</sub> (mg/L)
M1	Laguna Sur	20,70 ± 0,01	14,00 ± 0,02
M2	Laguna ANAP	56,60 ± 0,02	40,30 ± 0,01
M3	Laguna Génesis	14,60 ± 0,01	4,50 ± 0,03
M4	Laguna Principal	6,70 ± 0,01	2,20 ± 0,02
M5	Canal Sangradero	4,50 ± 0,01	5,60 ± 0,01
M6	Afloramiento	35,80 ± 0,02	6,80 ± 0,02
M7	Lavandería	57,70 ± 0,01	9,20 ± 0,03
M8	Esmeralda	10,60 ± 0,03	6,20 ± 0,01
M9	Canal a la salida del camal	18,50 ± 0,01	20,70 ± 0,02
M10	Canal hacia la laguna ANAP	20,20 ± 0,01	11,80 ± 0,02
M11	Canal hacia la laguna Sur y ANAP	12,40 ± 0,02	19,60 ± 0,01
M12	Canal hacia la laguna Génesis	15,10 ± 0,02	20,20 ± 0,02
M13	Canal hacia la laguna Principal	22,10±0,01	18,50±0,01

### 3.4 Detergentes

La curva de calibración se presenta en la Figura 32 usando como estándar al C<sub>12</sub> LAS. El rango de la curva es de 10 a 200 µg de LAS.

Figura 32. Curva de calibración para la determinación de detergentes,  $\lambda = 652 \text{ nm}$



La curva de calibración está representada por la siguiente función:

$$A = a \cdot m + b \quad (\text{ecuación 2})$$

donde  $A$  es absorbancia<sub>estandar</sub>;  $a$  es igual a 0,0018;  $b$  es 0,0065 y  $m$  es la cantidad de LAS<sub>estandar</sub> en  $\mu\text{g}$ .

A partir de la masa de  $C_{12}$  LAS (expresada en  $\mu\text{g}$ ) se puede calcular la concentración de MBAS mediante la ecuación 2.

En la Tabla 17 se presentan los resultados obtenidos para los análisis de detergentes en las muestras de agua de los canales de abastecimiento y las lagunas de los Pantanos de Villa. El promedio y la desviación estándar provienen de tres réplicas.

Tabla 17. Concentración de detergentes en las muestras de agua

Estación	Descripción	Diciembre 2013	Julio 2014
		MBAS (ppm)	MBAS (ppm)
M1	Laguna Sur	0,0251 $\pm$ 0,0004	0,0192 $\pm$ 0,0001
M2	Laguna ANAP	0,3702 $\pm$ 0,0003	0,2991 $\pm$ 0,0004
M3	Laguna Génesis	0,0841 $\pm$ 0,0002	0,0792 $\pm$ 0,000
M4	Laguna Principal	1,1182 $\pm$ 0,001	0,6261 $\pm$ 0,002
M5	Canal Sangradero	0,8721 $\pm$ 0,002	0,7053 $\pm$ 0,001
M6	Afloramiento	0,3133 $\pm$ 0,0002	0,2521 $\pm$ 0,0004
M7	La Lavandería	6,3471 $\pm$ 0,004	0,6502 $\pm$ 0,002
M8	Esmeralda	0,0261 $\pm$ 0,0001	0,0204 $\pm$ 0,0001
M9	Canal a la salida del camal	0,0522 $\pm$ 0,0001	0,0392 $\pm$ 0,0003
M10	Canal hacia la laguna ANAP	0,0352 $\pm$ 0,0002	0,0261 $\pm$ 0,0001
M11	Canal hacia las lagunas Sur y ANAP	0,0381 $\pm$ 0,0001	0,0243 $\pm$ 0,0001
M12	Canal hacia la laguna Génesis	0,0323 $\pm$ 0,0001	0,0281 $\pm$ 0,0002
M13	Canal hacia la laguna Principal	0,0201 $\pm$ 0,0002	0,0163 $\pm$ 0,0004

### 3.5 Matriz de correlación

En la Tabla 18 se presenta la matriz de correlación entre los parámetros analizados mediante el programa SPSS 22.0. La tabla de correlación ayuda a determinar la calidad de los datos obtenidos y verificar las relaciones lineales. La relación lineal entre dos variables intenta predecir el valor de una de ellas a partir del valor de la otra. Si  $R^2$  se encuentra entre 0,8 y 1, puede haber una relación lineal positiva entre dos parámetros. Si  $R^2$  se encuentra entre -1 y -0,8 puede haber una relación inversa. Si  $R^2$  tiende a cero puede no haber una relación lineal entre los parámetros. Según la Tabla 18 es probable la relación lineal positiva entre los parámetros CE y SDT,  $P_{\text{disuelto}}$  y  $P_{\text{total}}$ .

Tabla 18. Correlación entre parámetros analizados

	pH	Temperatura	CE	SDT	MBAS	$P_{\text{disuelto}}$	$P_{\text{total}}$	Nitrógeno
pH								
Temperatura	-0,018							
conductividad	0,419	0,240						
SDT	0,425	-0,160	0,890					
MBAS	-0,009	-0,259	-0,092	0,036				
$P_{\text{disuelto}}$	-0,573	-0,279	-0,377	-0,316	0,274			
$P_{\text{total}}$	-0,539	-0,328	-0,346	-0,271	0,397	0,987		
Nitrógeno	-0,189	0,220	0,458	0,402	0,204	-0,062	-0,019	

## 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

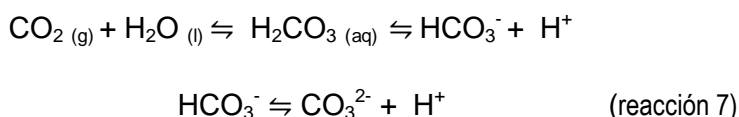
Las estaciones de M1 a M5 corresponden a las lagunas de Los Pantanos de Villa, las estaciones M6, M7 y M8 corresponden a zonas de afloramiento de aguas; y las estaciones de M9 a M13 corresponden a canales superficiales de agua que abastecen a las lagunas de Los Pantanos de Villa.

### 4.1 pH

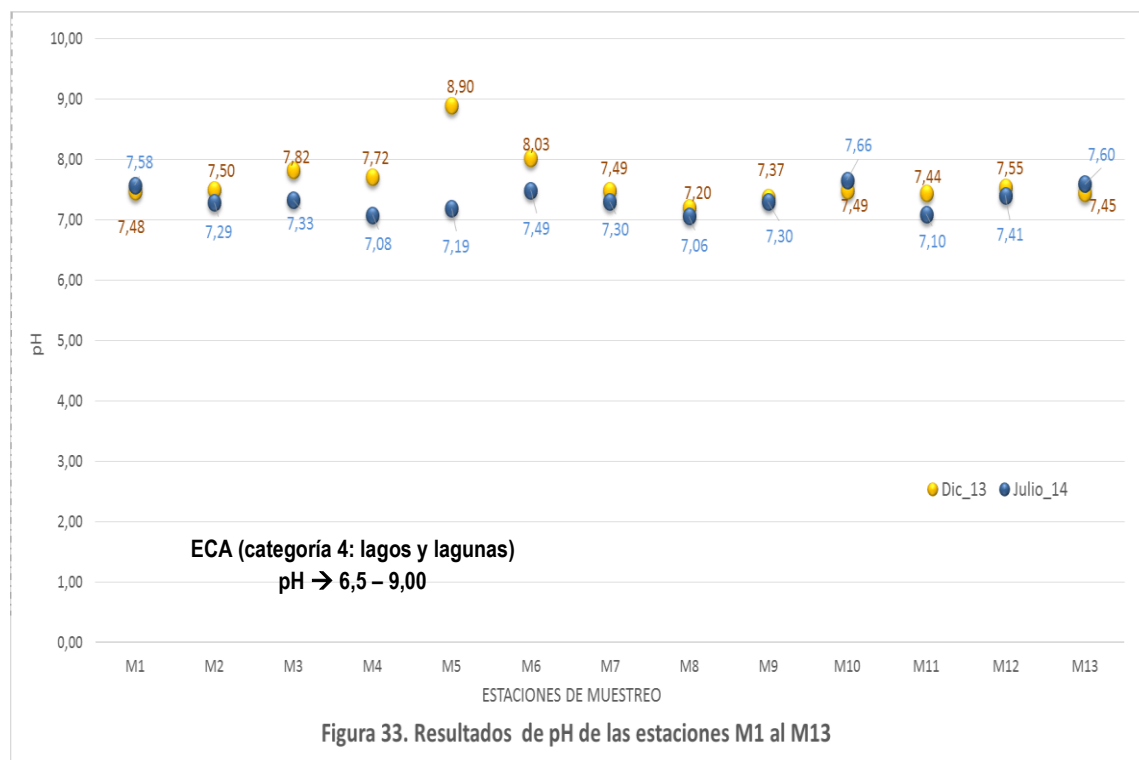
Según la dinámica fisicoquímica del humedal, el pH es regulado por la actividad fotosintética de algas y macrófitas presentes. Los valores de pH están directamente relacionados con la presencia o ausencia de CO<sub>2</sub> disuelto en agua. Según la estratificación térmica del humedal, las aguas superficiales (más cálidas) poseen mayor contenido de algas y macrófitas que usan CO<sub>2</sub> como alimento, alcalinizando la zona; en cambio, en aguas profundas pobres en O<sub>2</sub> los valores de pH disminuyen (Reddy y Delaune.2008).

En la Figura 33, construida en base a los resultados de pH de la Tabla 14, se presentan los valores de pH de las estaciones M1 a M13 y se encuentran en el rango de 7,06 a 8,90. Los resultados de pH en el primer monitoreo (diciembre 2013) y en el segundo monitoreo (julio 2004) son ligeramente básicos; sin embargo, es en el primer monitoreo donde los valores de pH son más elevados, con excepción de las estaciones M1, M10 y M13.

Las estaciones M1 a M5, pertenecientes a las lagunas, presentan mayor pH en diciembre que en julio, esto se debe a que en verano el caudal de agua de las lagunas disminuye y con ello el arrastre de nutrientes, aumentando así la concentración de nutrientes en la columna de agua que, a su vez, genera una mayor presencia de algas. En consecuencia, se da una proliferación de macrófitas que aumentan la actividad fotosintética; en esta actividad usan el CO<sub>2</sub> del agua alterando la capacidad de amortiguamiento del sistema carbonato (reacción 7) y aumentando así la basicidad del agua.



Durante el proceso de fotosíntesis se consume  $\text{CO}_2$  del agua, desplazando el equilibrio descrito hacia la derecha. La baja concentración de  $\text{CO}_2$  provoca una disminución en la concentración del ión hidronio  $\text{H}^+$  y por ende un aumento en el pH.



En el caso de las estaciones M6 a M13, estaciones frente a Los Pantanos de Villa, el aumento de pH en diciembre se debe a que la población en verano hace mayor uso de las aguas para actividades de lavandería, limpieza de carro y bebida de animales, el uso de detergentes domésticos incrementa la concentración de fosfatos lo que genera un aumento de nutrientes y con ello de pH.

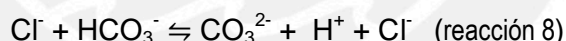
El máximo valor de pH se presenta en la estación M5 con pH 8,90, dicha estación se encuentra en la zona donde se conecta el canal Sangradero a la Laguna Principal. La estación está fuera de la zona cercada de Los Pantanos de Villa y es de libre acceso a la población; en ocasiones los pobladores vierten desechos orgánicos y/o desmontes de construcción (ver Figura 7). El alto valor corresponde al mes de diciembre cuando aumenta la afluencia de público y la zona es más propensa a ser contaminada por desechos orgánicos, que al descomponerse generan nutrientes que favorecen el crecimiento de vegetación y estas en su actividad fotosintética consumen el  $\text{CO}_2$ , aumentando así la basicidad del agua.



El mínimo valor de pH, tanto en diciembre como en julio, lo presenta la estación M8. Dicha estación pertenece a un afloramiento de agua alejado de la población, lo que explica su baja variación de pH, pues al no ser muy frecuentado por la población no hay alteración externa aparente sobre su fisicoquímica.

Las estaciones M1, M2, M3, M4 y M5 pertenecen a las lagunas principales de Los Pantanos de Villa. Los ECAs para lagos y lagunas determinan valores de pH entre 6,5 y 9,00. En ambos monitoreos, los valores de pH se mantienen dentro de lo establecido por los ECAs. De estas cinco estaciones, M1, M3, M4 y M5 pertenecen a las lagunas accesibles a la población, forman parte del circuito turístico de Los Pantanos de Villa. Por el contrario, la laguna M2 no forma parte del circuito. Es de esperar que los mayores valores de pH pertenezcan a las lagunas más accesibles a la población, como sucede en el mes de diciembre donde el menor valor de pH (7,29) lo presenta la laguna Anap (M2). Esta laguna, al no encontrarse accesible para la población, es menos propensa a ser contaminada por desechos orgánicos que al descomponerse alteran los valores de pH.

En el mes de julio la estación M1 presenta un valor de pH igual a 7,58, ligeramente mayor a 7,48 presentado en el mes de diciembre. Esto puede ser debido a la proximidad con la playa Marvilla. Esta estación posee características distintas a las otras pues se encuentra a 160 m de la playa y, en invierno, el agua de mar (que posee alrededor de 54% de iones  $\text{Cl}^-$ ) tiende a llegar hasta la laguna y así contribuir a la basicidad de sus aguas, tal como muestra la reacción 8.



Cabe recordar que la capacidad amortiguadora del sistema carbonato tiene sus límites. Una vez que la entrada de una base sobrepasa las concentraciones de bicarbonato, el sistema no puede absorber este exceso.

La estación M10 pertenece a un dren del canal del margen izquierdo del Jr. Los Horticultores hacia la Laguna Anap. El valor de pH en el mes de julio de 7,66 es ligeramente mayor al valor de 7,49 presentado en el mes de diciembre. Este pequeño aumento pudo ser causado porque cuando se tomó la muestra, algunos pobladores lavaban carros y sacos con papa (ver Figura 20) a aproximadamente 15 m de donde se tomó la muestra. Es de esperar que el uso de detergentes haya influido en la lectura de pH. En el caso de la estación M13, el mayor pH en julio pudo ser debido a la mayor presencia de desechos sólidos orgánicos en las aguas (ver Figura 23); estos desechos, al descomponerse, pueden afectar al equilibrio carbónico del agua (ver reacción 7).

En la Tabla 19 se presentan los resultados de los monitoreos realizados por Cano & Young en 1998, DIGESA en los años 2005, 2006, 2007, 2008; y se añaden los datos obtenidos en diciembre del 2013 y julio del 2014. Sólo en el caso de la estación M4 se tienen resultados de pH en todos los monitoreos y no se observa alguna tendencia de aumento o disminución de pH a lo largo de los años.

Se observa en algunos casos mayores valores de pH en meses de verano que en meses de invierno. En los meses de primavera - verano (noviembre, diciembre, enero y febrero) los valores de pH están en el rango de 7,80 a 8,79; por el contrario, en los meses de invierno (abril, mayo y julio) los valores del pH oscilan entre 5,59 y 8,42.

Tabla 19. Comparación de valores de pH (Cano & Young 1998; DIGESA 2005, 2006, 2007, 2008)

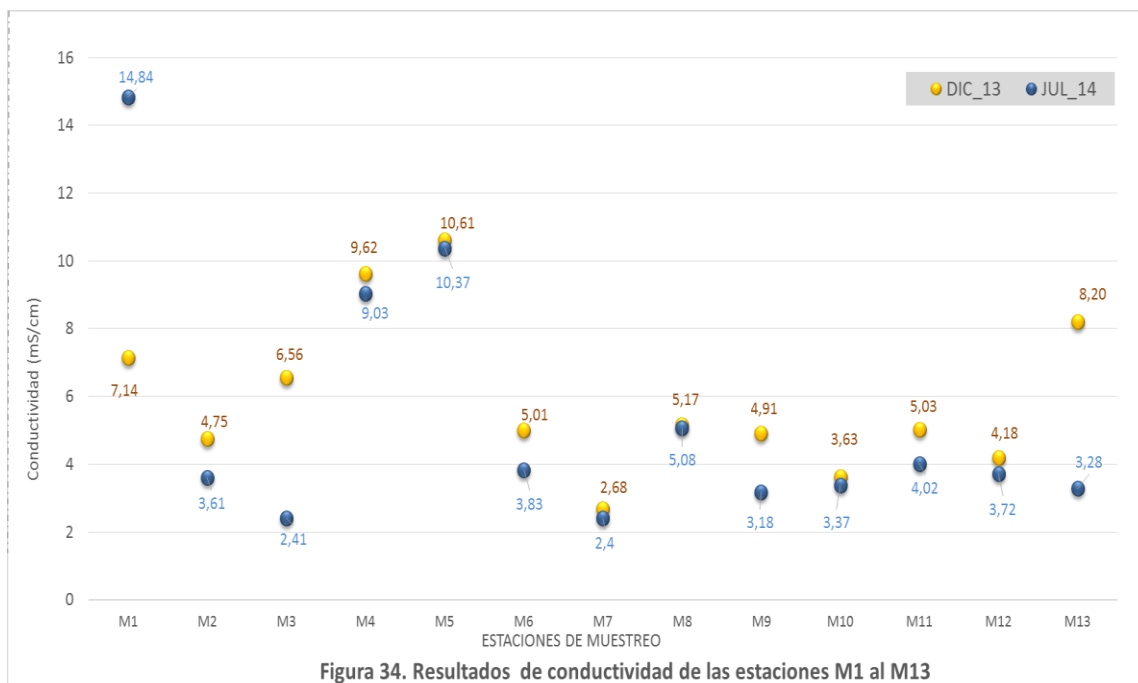
	pH										
	Cano & Young 1998				DIGESA 2005, 2006, 2007, 2008					Esta tesis 2013, 2014	
	nov-97	dic-97	ene-98	feb-98	jul-05	feb-06	jul-06	may-07	jul-08	dic-13	jul-14
M1					7,22	8,23	5,59	8,44		7,48	7,58
M2										7,50	7,29
M3					7,69	8,33	5,74	8,14	8,29	7,82	7,33
M4	8,00	8,00	8,00	8,00	7,93	8,79	6,21	8,14	8,02	7,72	7,08
M5	8,00	8,00	7,80	7,80						8,90	7,19
M6					7,51		6,63	7,54	7,64	8,03	7,49
M7					7,59		6,55	7,57	7,70	7,49	7,30
M8										7,20	7,06
M9										7,37	7,30
M10					7,77		6,53	7,52	7,74	7,49	7,66
M11										7,44	7,10
M12										7,55	7,41
M13					7,43		6,65	7,55	7,44	7,45	7,60

## 4.2 Conductividad

La conductividad de un cuerpo de agua es directamente proporcional a su concentración de sólidos disueltos. Esta dependencia se observa en esta tesis mediante el valor de correlación de la Tabla 18 entre la conductividad y sólidos totales disueltos, el cual es de 0,890

Como se observa en la Figura 34, los valores de conductividad de M1 a M13 son mayores en el mes de diciembre, con excepción de M1, debido a la mayor

temperatura (factor influyente en la solubilidad de iones) y a la mayor presencia de desechos orgánicos. Una mayor temperatura en el mes de diciembre, entre 22°C y 24°C, favorece a la solubilidad de iones y con ello a la conductividad.



Los valores más altos de conductividad se encuentran en las estaciones M1, M5 y M13. El alto valor en la estación M1 en el mes de julio se debe a que, al estar cerca de la playa Marvilla, en los meses de invierno recibe mayores aportes de agua de mar y aumenta la concentración de sales como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  que, a su vez, aumentan la conductividad

Los valores altos de M5 y M13 en el mes de diciembre se deben a la mayor presencia de desechos orgánicos encontrados, además, presentan altas concentraciones de sólidos totales disueltos (ver Figura 35) donde la presencia de iones como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  provenientes de la descomposición de desechos orgánicos vertidos aumentan la conductividad (reacción 9).



(reacción 9)

En la Tabla 20, al comparar los resultados de los monitoreos realizados por DIGESA en los años 2005 y 2008 con los realizados en este estudio en diciembre del 2013 y julio del 2014. Se observa que no hay una tendencia en aumento o

disminución de conductividad entre los meses de julio a lo largo de los tres años. Si comparamos los resultados de conductividad de los meses de julio con el resultado obtenido en diciembre se evidencia que la mayoría de valores de conductividad en julio son menores a los valores de diciembre. Exceptuando M1, M7 y M10.

Tabla 20. Comparación de valores de conductividad (DIGESA 2005, 2008)

	Conductividad (mS/cm)			
	DIGESA		Esta tesis 2013, 2014	
	jul-05	jul-08	dic-13	jul-14
<b>M1</b>	10,42		7,14	14,83
<b>M2</b>			4,75	3,61
<b>M3</b>	4,47	2,59	6,56	2,41
<b>M4</b>	7,05	3,25	9,62	9,03
<b>M5</b>			10,61	10,37
<b>M6</b>	4,08	2,35	5,01	3,83
<b>M7</b>	3,59	3,65	2,68	2,40
<b>M8</b>			5,17	5,08
<b>M9</b>			4,91	3,18
<b>M10</b>	7,04	2,61	3,63	3,37
<b>M11</b>			5,03	4,02
<b>M12</b>			4,18	3,72
<b>M13</b>	6,01	3,06	8,20	3,28

#### 4.3 Sólidos totales disueltos (STD)

Se consideran STD al total de sólidos filtrables mediante un filtro con porosidad menor igual a 2  $\mu\text{m}$ . Los STD representan la verdadera carga iónica en el agua (minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua) y guarda una correlación positiva con la productividad en un lago. Sin embargo, su excesiva concentración afecta la penetración de la luz en el agua. En la Tabla 21 se presenta la concentración aproximada de sólidos totales disueltos según el tipo de lago

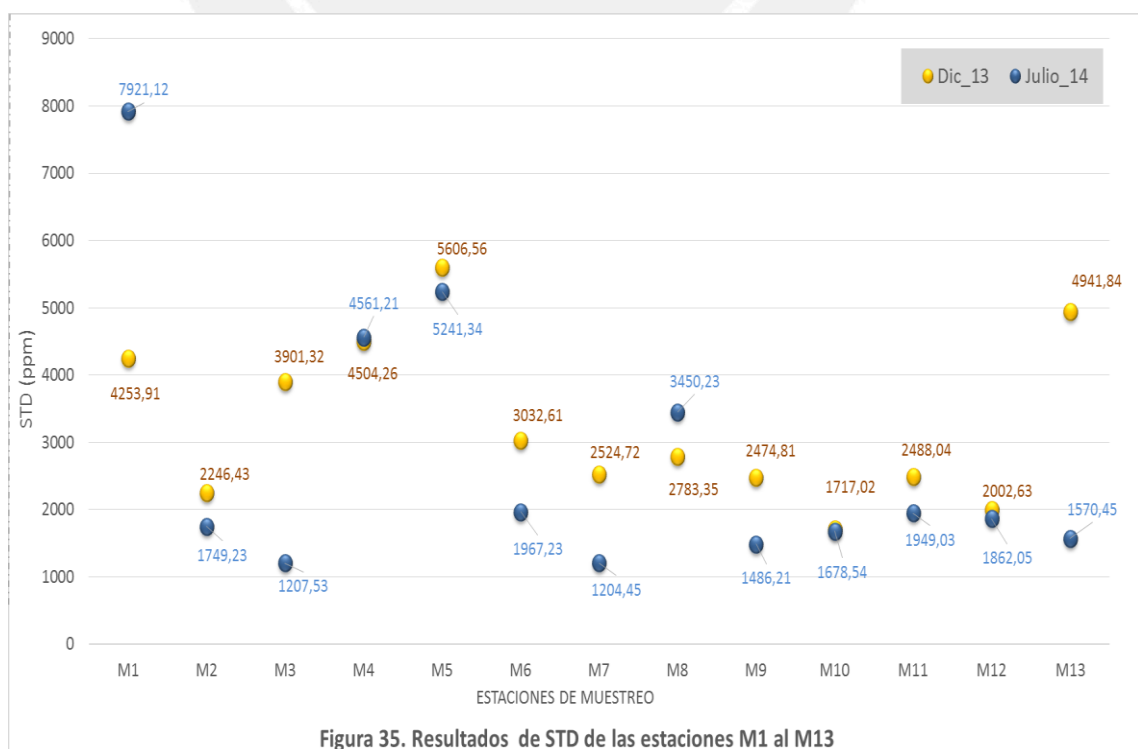
Tabla 21. Concentración de STD según tipo de lago (Water Quality Association. 2010)

Tipo de lago	Sólidos totales disueltos
Ultraoligotrófico	De 1 a 5 ppm
Eutrófico	Aprox. 185 ppm
Hipereutrófico	Aprox. 35 000 ppm



La concentración de STD nos ayuda a determinar la salinidad del agua, considerando el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Con ello, se puede clasificar el agua según su concentración de STD: el agua dulce contiene < 1000 ppm STD; el agua salobre contiene entre 1000 y 5000 ppm STD; el agua altamente salobre contiene entre 5000 y 15 000 ppm STD y el agua salina contiene entre 15 000 y 30 000 ppm STD (Water Quality Association. 2010).

En la Figura 35 se tienen los resultados de los STD de las estaciones M1 a M13. Se puede observar que en diciembre del 2013 las concentraciones de STD son mayores a las determinadas en julio del 2014 (con excepción de M1, M4 y M8). Los mayores valores de STD en diciembre con respecto a los de julio puede ser debido a la mayor temperatura que se tiene en dicho mes, una mayor temperatura favorece la disolución de algunas sales, metales o minerales en el cuerpo de agua. El menor caudal de agua en el mes de diciembre favorece a un estancamiento del recurso que puede influenciar en una mayor concentración de STD en la columna de agua, por el contrario en el mes de julio se presenta un mayor caudal de agua que permite una renovación rápida del recurso y con ello una menor concentración de STD en la columna de agua. En esta investigación no se determinó la concentración de los sólidos suspendidos y sedimentables, ello hubiera aportado al análisis de la dinámica de sólidos en Los Pantanos de Villa.



Según las categorías de lagos de la Tabla 21, las lagunas monitoreadas, estaciones M1 a M5, están en nivel eutrófico. Según la clasificación antes mencionada, todas las aguas de las estaciones, excepto M1 y M5, son consideradas aguas salobres (agua más salina que el agua dulce, pero menos salina que el agua de mar) pues el rango de STD está entre 1000 y 5000 ppm. Esto es debido a que, al ser un humedal costero, existen canales subterráneos que abastecen las lagunas y que produce la mezcla de agua dulce con agua salina.

Los valores altos de STD pertenecen a la estación M1, M5 y M13, la estación M1 se encuentra en la categoría de agua altamente salobre y las estaciones M5 y M13 se encuentra en el límite de agua salobre y altamente salobre. En el caso de M1, el alto valor se debe a la mezcla de agua de mar de la playa Marvilla con el agua dulce de la laguna, sobretodo en el mes de julio, aumentado la carga iónica del agua y así la concentración de STD. La estación M13 y M5 presentan mayores valores de STD debido a que en ambos monitoreos se encontraron desechos orgánicos alrededor de las estaciones, que al descomponerse aumentan la carga iónica del agua y así la concentración de STD.

En algunos casos la cantidad de sólidos totales disueltos se puede determinar mediante la medida de la conductividad, utilizando la ecuación 3:

$$K * F = \text{STD} \quad (\text{ecuación 3})$$

donde  $K$  es la conductividad expresada en  $\mu\text{S}$  y  $F$  es el factor de conversión según la composición de la muestra. Sin embargo, se puede tomar 0,6 como factor referencial para una muestra desconocida (Water Quality Association. 2010). En la Tabla 21 se observa que en los casos de M1, M3, M6 y M13 en el mes de diciembre, los valores teóricos tienen correlación con los resultados obtenidos.

Tabla 22. Comparación de valores de STD teóricos con los STD obtenidos.

<b>Sólidos Totales Disueltos (ppm)</b>				
<b>Estaciones</b>	<b>Dic-13 teórico</b>	<b>Dic-13 obtenido</b>	<b>Jul-14 teórico</b>	<b>Jul-14 obtenido</b>
<b>M1</b>	4284	4253,91	8904	7921,12
<b>M2</b>	2850	2246,43	2166	1749,23
<b>M3</b>	3936	3901,32	1446	1207,53
<b>M4</b>	5772	4504,26	5418	4561,21
<b>M5</b>	6366	5606,56	6222	5241,34
<b>M6</b>	3006	3032,61	2298	1967,23
<b>M7</b>	1608	2524,72	1440	1204,45
<b>M8</b>	3102	2783,35	3048	3450,23
<b>M9</b>	2946	2474,81	1908	1486,21
<b>M10</b>	2178	1717,02	2022	1678,54
<b>M11</b>	3018	2488,04	2412	1949,03
<b>M12</b>	2508	2002,63	2232	1862,05
<b>M13</b>	4920	4941,84	1968	1570,45

#### 4.4 Fósforo disuelto y total

La mayoría de humedales son ricos en fósforo, donde se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas. El fósforo inorgánico disuelto es considerado biodisponible (sobre todo los ortofosfatos), mientras que los compuestos de fósforo orgánico deben transformarse a compuestos inorgánicos antes de ser considerados biodisponibles (Reddy & Delaune, 2008). La función de los humedales en torno a la eliminación y retención de fósforo varía dependiendo del tipo de humedal, la estacionalidad y, sobre todo, las tasas de carga (Richardson & Vaithiyathan, 2009).

En investigaciones realizadas por Reddy & Delaune (2008) se ha encontrado que los humedales exportan concentraciones 10 veces menor de fósforo que la zona urbana, lo cual mejora la calidad de las aguas. Por lo tanto, son importantes sistemas de control de fósforo en el ambiente. Pero no todos los humedales

realizan el ciclo de fósforo a la misma velocidad, algunos se convierten rápidamente en humedales saturados de fósforo. La pérdida y contaminación de humedales en las ciudades ha disminuido la capacidad de retención de fósforo, provocando el enriquecimiento de este nutriente en lagos, ríos y aguas costeras (Reddy & Delaune, 2008). Si se consideran las concentraciones de fósforo en una columna de agua, se pueden clasificar los cuerpos de agua de la siguiente manera:

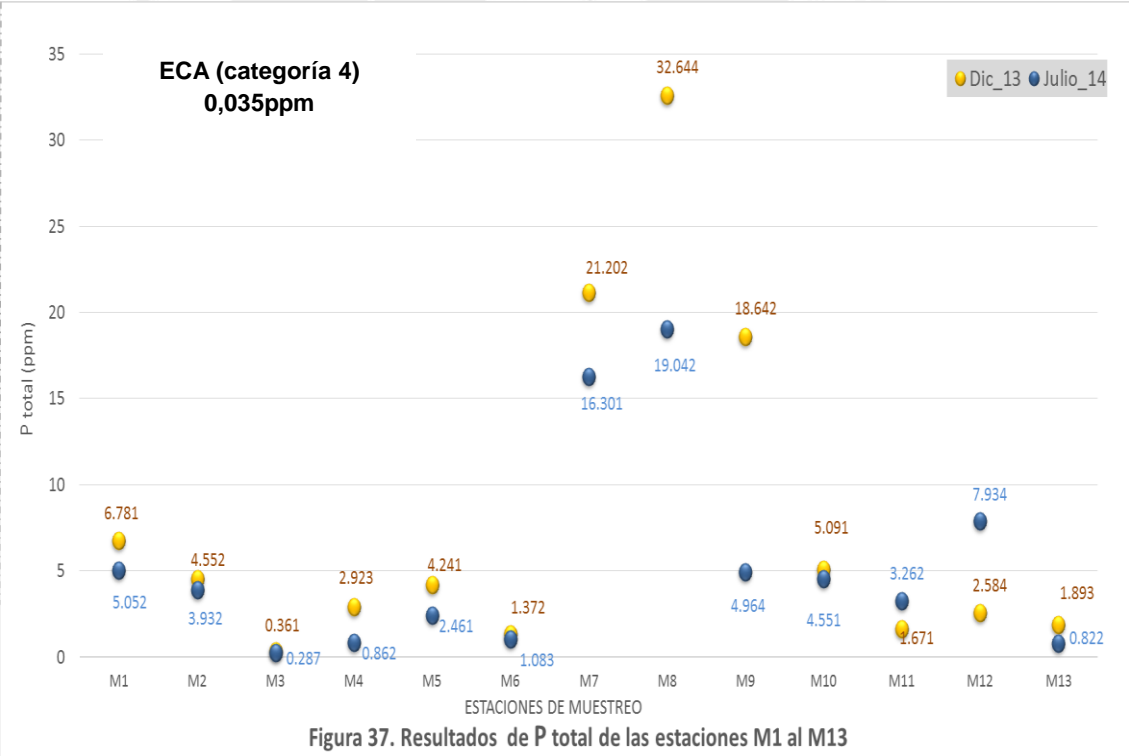
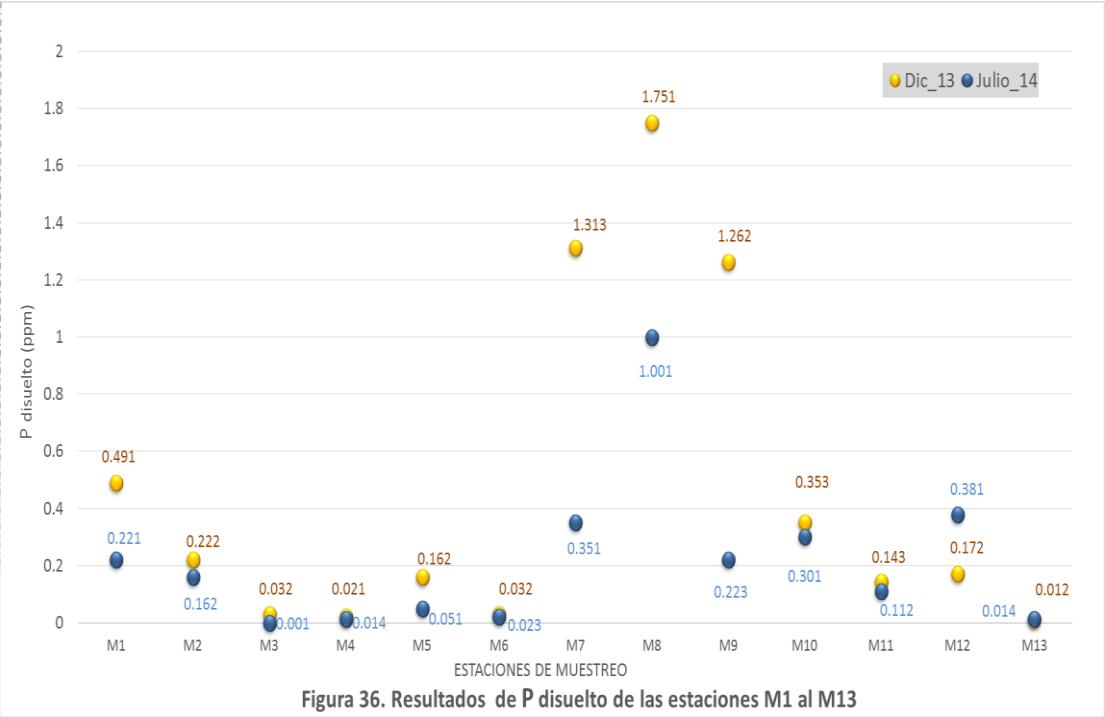
Tabla 23. Clasificación de lagos según la concentración de P (Adaptado de Reddy & Delaune, 2008).

Productividad del sistema	Fósforo total (ppm)
Oligotrófico	< 0,01
Mesotrófico	0,01 – 0,035
Eutrófico	0,035 – 0,1
Hípereutrófico	> 0,1

Al entrar una concentración de fósforo a la columna de agua del humedal, una parte es rápidamente absorbida por algas, bacterias o plantas acuáticas, otra es sedimentada en el fondo del humedal y el resto, fósforo disponible, se mantiene en la columna de agua si hay suficientes partículas de Al, Mg, Fe y Ca, pues el fósforo presenta una alta afinidad de formar complejos con estos elementos. Esta formación dependerá del pH de la solución y de la concentración de dichos elementos (Richardson & Vaithyanathan, 2009).

En la Figura 36 y Figura 37 se presentan los resultados de las concentraciones de  $P_{\text{disuelto}}$  y  $P_{\text{total}}$  de las estaciones monitoreadas. Se observa que ambas concentraciones son mayores en diciembre del 2013 debido a que en dicho mes el caudal de las lagunas es menor, lo que ocasiona que los nutrientes se mantengan en mayor concentración en la columna de agua por el menor lavado de nutrientes. Se observa también que las mayores concentraciones de  $P_{\text{disuelto}}$  y  $P_{\text{total}}$  se dan en las estaciones de M1 (laguna Sur), M2 (laguna Anap), M7, M8 y M9.





Las estaciones M1 y M2 presentan mayores concentraciones de fósforo disuelto que las lagunas Génesis (M3) y Principal (M4 y M5). Esto es consistente con que los valores pH en M1 y M2 son los que están más cercanos a pH 7 (ver Figura 33), pues suele ocurrir que en el rango de pH 5,5 – 7 se da la máxima solubilidad de las formas de fósforo inorgánico y se genera una mayor disponibilidad del fósforo en la columna de agua. En cambio, los valores de pHs en las lagunas M3, M4 y M5 son más alcalinos. A estos valores de pH, el agotamiento del  $\text{CO}_2$  por la actividad fotosintética promueve la calcificación, y debido a que los fosfatos coprecipitan con el  $\text{CaCO}_3$ , se genera un aumento de concentración de fósforo en sedimentos disminuyendo así su presencia en la columna de agua.

Los ECAs para lagos y lagunas de cuerpos lénticos presentan un valor de 0,035 ppm para fósforo total. En la Figura 37 se muestra que todos los valores de P sobrepasan los ECAs. Si se comparan los resultados de la Figura 37 con la Tabla 23, se tiene que todas las lagunas son hipereutróficas, es decir, sobresaturados de nutriente P. La tasa de entrada de fósforo a las lagunas es mucho mayor que aquella que el humedal puede transformar. Si se comparan las concentraciones de P obtenidas en las lagunas de Los Pantanos de Villa con las concentraciones de P halladas en diferentes humedales costeros de Norteamérica se observa que en los humedales norteamericanos las concentraciones de P varían entre 0,05 ppm y 0,18 ppm (Mitsch J. y Gosselink J., 2007), muy por debajo de las concentraciones halladas en las lagunas de Los Pantanos de Villa que se encuentran entre 0,28 ppm y 32,64 ppm.

La concentración de  $P_{\text{total}}$  en M6, zona se realiza actividades de lavado, posee una concentración de P baja. Esto puede ser debido a que el pH medido en este punto es el mayor (8,3), y en medio alcalino se promueve la calcificación y los fosfatos coprecipitan con el  $\text{CaCO}_3$  disminuyendo su concentración en la columna de agua.

La estación M7 presenta una concentración de fósforo total de 32,64 ppm, la alta concentración es debido a las actividades de lavado que realizan los pobladores en la zona. El fósforo proviene de los detergentes utilizados (los detergentes comerciales poseen una concentración de entre 10 y 30 ppm de fósforo). Esto se corrobora con los resultados obtenidos en la determinación de detergentes para la estación M7, ver Tabla 16, donde se puede apreciar la alta concentración de detergentes hallada.

La estación M8 pertenece a la zona Esmeralda. A simple inspección se identifica que es un afloramiento de agua en suelo pedregoso (ver Figura 18) y no se

observan los canales subterráneos que conecten al afloramiento. En la zona no se observó presencia de desechos orgánicos ni de prácticas de lavado, el agua era transparente y de apariencia saludable. Se esperaba que el agua no presentara concentraciones altas de P y N, y menos aún rastros de detergentes. Sin embargo, se encontraron altas concentraciones de fósforo en ambos monitoreos. Si se considera que 10,96% del distrito de Chorrillos carece de servicio de saneamiento básico (INEI 2010), la alta concentración de P puede provenir de las aguas residuales vertidas al canal que conectan previamente al afloramiento. En ellas se pueden encontrar altas concentraciones de nutrientes.

La estación M9 también presenta valores altos de fósforo debido a que las aguas de esta estación provienen de un canal que atraviesa previamente las instalaciones de un camal avícola clandestino. Las aguas residuales del camal pueden estar siendo vertidas al canal provocando así un aumento en la concentración de P y N que se encuentran en proporciones considerables en los residuos avícolas. Las aguas residuales en canales avícolas similares al descrito contienen una concentración de fósforo de alrededor 20 ppm (Becerra *et. al.* 2014).

#### 4.5 Nitrógeno total

La entrada de nitrógeno a los humedales tiene varios orígenes: descargas antropogénicas de fuentes puntuales, la fijación de N de las precipitaciones y fijaciones biológicas. En los humedales, la mayor parte del nitrógeno se almacena como N orgánico (proteínas, azúcares, etc.) y el N inorgánico se encuentra en formas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) (Reddy & Delaune, 2008).

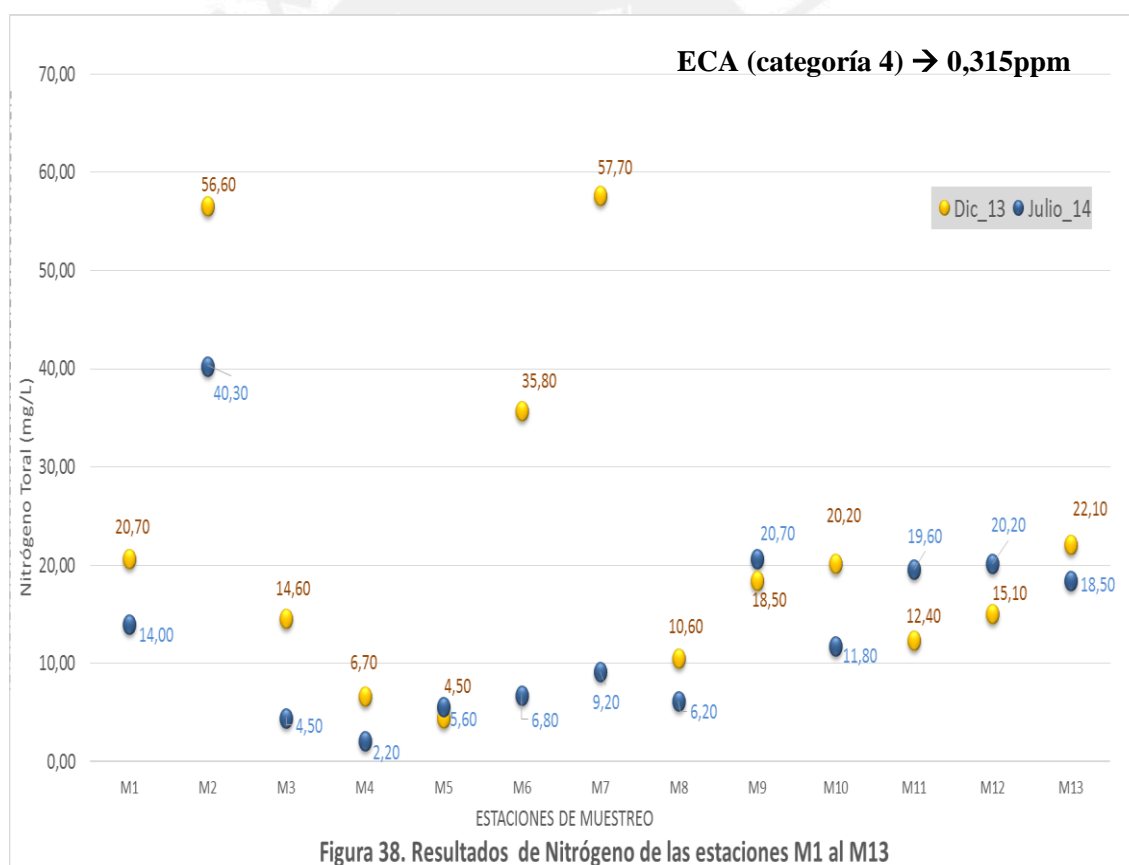
El nitrógeno total Kjeldahl es referido al amoníaco libre o las formas de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) de compuestos nitrogenados de origen biológico, como las proteínas. Al suministrar el nitrógeno a la columna de agua, una parte es consumida por la materia orgánica por algas y macrófitas, otra parte se fija en las arcillas de los suelos y la otra se puede nitrificar (Reddy & White. 2009). Se pueden clasificar a los lagos de acuerdo al contenido de amoníaco en sus aguas (Roldan & Ramírez. 2008).

Tabla 24. Clasificación de lagos según las concentraciones de amoníaco

Tipo de lago	Amoníaco (mg/L)
Oligotrófico	< 0,30
Mesotrófico	0,30 – 2.00
Eutrófico	2,00 – 15,00

En la Figura 38 se muestran las concentraciones de nitrógeno obtenidas en las estaciones M1 a M13. Se puede observar que las concentraciones de nitrógeno total son mayores en el mes de diciembre que en el mes de julio. Esto es debido a que las lagunas y canales en diciembre poseen menor caudal lo que favorece una mayor concentración de nitrógeno en el cuerpo de agua pues hay menor lavado de nutrientes.

Se observa que todas las lagunas sobrepasan el ECA establecido de 0,315ppm para el N. Según la Tabla 23, las lagunas Sur (M1) y Anap (M2) presentan concentraciones de N por encima de los valores de un lago eutrófico, por lo que estarían en la categoría de lago hipereutrófico, coincidente con la categoría hipereutrófica que se les dio según la concentración de fósforo. En el caso de las lagunas Génesis (M3) y Principal, estas estarían en un nivel eutrófico



La laguna Anap (M2) presenta altas concentraciones de nitrógeno, ello determina que la laguna está en un estado anóxico, pues en condiciones anaeróbicas se favorece la acumulación del  $\text{NH}_3$  en el cuerpo de agua. Esta concentración elevada de nitrógeno se puede relacionar con la baja concentración de STD hallada (ver



Figura 35). Se podría dar la existencia de sales no disueltas en el cuerpo de agua debido a la formación de sales insolubles, sales de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ , que se concentran en la columna de agua sobre todo en diciembre, época de poco caudal.

Las lagunas que presentan menores concentraciones de N son la laguna Génesis (M3) y Principal (M4 y M5). Esta baja concentración es debido a que los microorganismos tienden a oxidar los compuestos nitrogenados favoreciendo a la nitrificación y disminuyendo la concentración del nitrógeno total Kjeldahl.

En el mes de diciembre, se obtuvo altas concentraciones de nitrógeno en las estaciones donde se realizan actividades de lavado, M6 y M7. Esto es debido a que no sólo se están contaminando las aguas por el uso de detergentes, sino también por el vertimiento de desechos orgánicos que, al descomponerse, ocasionan un aumento de la concentración de nitrógeno en el cuerpo de agua.

Las concentraciones de M9, M10, M11, M12 y M13 son ligeramente altas y mayores que M8, pues pertenecen a canales accesibles a la población y, por ende, susceptibles a ser contaminadas por desechos orgánicos que contribuyen a la concentración de nitrógeno.

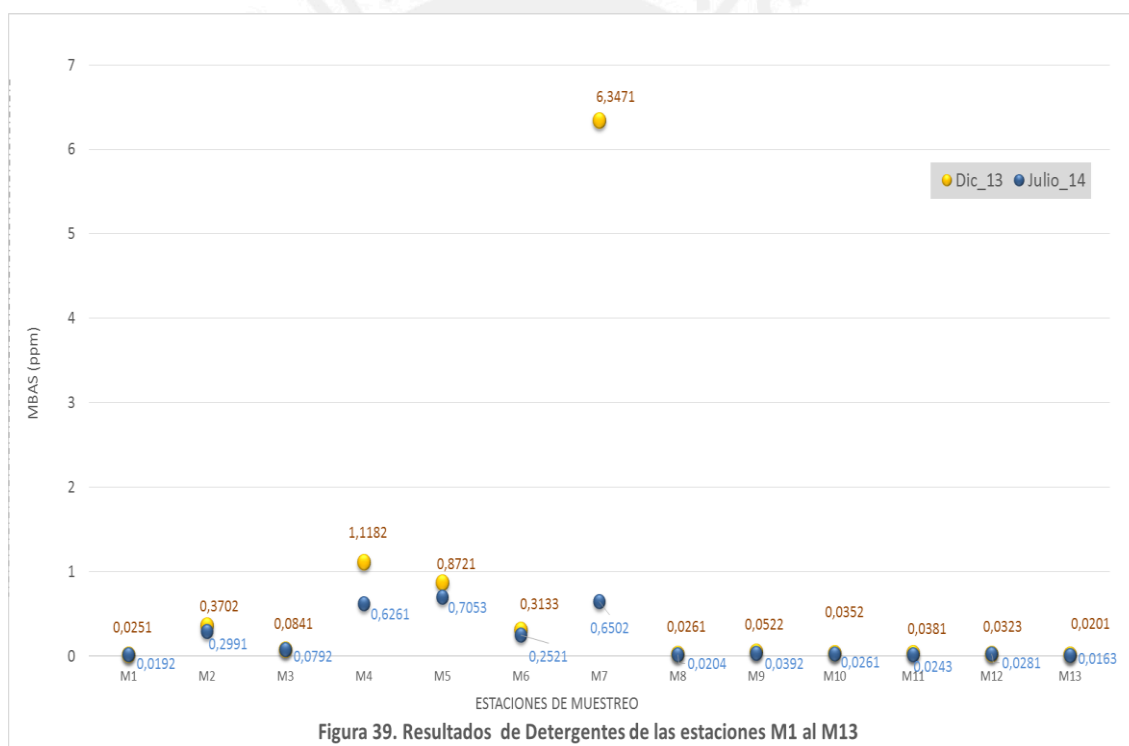
#### 4.6 Detergentes

La observación de que los pobladores de la zona cercana a Los Pantanos de Villa hacen uso del agua de los canales para actividades de lavado, abrevaje de animales y depósito de desecho generó la preocupación de una posible afectación a las principales lagunas de los pantanos debido al uso de detergentes en las actividades de lavado realizadas en los canales de abastecimiento a dichas lagunas. El componente principal de los detergentes son los surfactantes aniónicos; dentro de ellos, el más usado es el LAS. El LAS es un compuesto que comprende muchos isómeros con estructura  $(\text{R} - \text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3)^- \text{Na}^+$ , donde R es un grupo alquilo lineal que posee entre 10 y 14 átomos de carbono. La metodología empleada en esta investigación usa al LAS para estandarizar el método de detección de detergentes, y responde a surfactantes aniónicos también empleados como los surfactantes del sulfonato  $(\text{RSO}_3)^- \text{Na}^+$ , del sulfato éster  $(\text{ROSO}_3)^- \text{Na}^+$  y no iónicos sulfatados  $(\text{REnOSO}_3)^- \text{Na}^+$  (Greenberg 1992).

El peligro de la presencia de detergentes en el medio hídrico radica en su acción tóxica sobre la vida acuática y el suministro de fósforo a ella. Los detergentes son sustancias que se utilizan para limpiar y se disuelven en agua; estas aguas se

descargan en ríos y lagos o se infiltran bajo tierra provocando un proceso acelerado de eutrofización (Insua et al., 2010).

En la Tabla 17 y la Figura 39 se muestran los resultados de las concentraciones de detergentes en las estaciones M1 a M13. Se encontró presencia de detergentes en las lagunas de Los Pantanos de Villa. Se puede observar que las concentraciones de detergentes en diciembre del 2013 fueron mayores a las encontradas en julio del 2014. Esto resulta coherente ya que en meses de verano la población realiza la actividad de lavado con mayor frecuencia. También se debe a que en diciembre el caudal de las lagunas disminuye y la concentración de nutrientes aumenta, propiciando un ambiente anóxico que dificulta la biodegradabilidad del detergente, aumentando así la concentración en la columna de agua.



Se observa que las mayores concentraciones se encuentran en M2, M4, M5 y M7. La estación M2 pertenece a la laguna Anap y las estaciones M4 y M5 pertenecen a la laguna Principal. La alta concentración de detergentes en la laguna Principal es debido a que es la laguna que recibe mayores aportes de agua de canales de abastecimiento provenientes de la zona urbana (ver Figura 10).

Cabe resaltar que en Perú no existen ECAs para detergentes en cuerpos lénticos, como son los pantanos, tampoco investigaciones donde se determinen las

concentraciones de detergentes en pantanos. Sin embargo, se puede tomar como referencia que una muestra de LAS comercial presenta una toxicidad en el agua de 0,1 a 100 mg/L (UNEP, 2005). Las lagunas Anap (M2) y Principal (M4 y M5) poseen concentraciones tóxicas de LAS de 0,3 ppm y 1,1 ppm; esto ocasiona que la vida acuática se vea afectada, disminuyendo su presencia y desarrollo. Respecto a la afectación a la vida acuática, los detergentes remueven la capa de mucosidad que cubre al pez potenciando efectos dañinos de otros contaminantes y promoviendo el desarrollo de hongos y protozoarios patógenos (Malagriño y Almeida, 1987).

La alta concentración de detergentes en M7, zona llamada la Lavandería, era esperada y, como su mismo nombre lo dice, en esta estación es donde se realiza con mayor frecuencia la actividad de lavado, y con ello el mayor consumo de detergente. En los meses de verano los pobladores realizan con mayor frecuencia el lavado de ropa, por ello en el mes de diciembre la concentración de detergente en el agua es mucho mayor a la determinada en el mes de julio.

Las demás estaciones de los canales presentan concentraciones bajas en ambos meses de monitoreo. Esto se debe a que el agua en los canales posee mayor fluidez, la cual que permite la oxigenación y una probable biodegradación de detergentes, con ello una menor concentración de estos en la columna de agua. Las concentraciones de detergente en los canales de abastecimiento son menores a las concentraciones de detergente encontradas en las lagunas. Esto evidencia que las concentraciones que aportan los canales hacia las lagunas se van almacenando en ellas y no biodegradan.

Finalmente, para una mejor discusión y evaluación de la concentración de detergentes en las lagunas, es necesario realizar análisis a los sedimentos del fondo de las lagunas y de los canales, así se podría evaluar la concentración de detergente que se biodegrada y que sedimenta.

## 5. CONCLUSIONES

- La presente investigación confirma que la contaminación por detergentes debido a las actividades de lavado en los canales de abastecimiento de las lagunas de los Pantanos de Villa está llegando a dichas lagunas almacenando concentraciones elevadas de detergentes.
- La concentración de detergentes en las lagunas (M1 a M5) se encuentra en el rango de 0,019 ppm - 1,118 ppm MBAS. Las mayores concentraciones se encuentran en M4 y M5; ambas estaciones pertenecen a la laguna Principal, y la alta concentración de esta laguna puede deberse a que se conecta con mayores canales de abastecimiento provenientes de la zona urbana.
- Las lagunas Anap (M2) y Principal (M4 y M5) poseen concentraciones tóxicas de LAS de 0,3 ppm y 1,1 ppm, lo cual puede ocasionar que la vida acuática se vea afectada disminuyendo su presencia y desarrollo.
- En las lagunas (M1 a M5) se encontraron valores de pH que tienden a la basicidad en el mes de diciembre (pH 7,06 – 8,90) y tienden a la neutralidad en el mes de julio (pH 7,06 – 7,48) lo que confirma que, en verano, al disminuir el caudal de las lagunas aumenta la concentración de nutrientes en la columna de agua y se genera una proliferación de macrófitas que aumentan la actividad fotosintética en las lagunas usando el CO<sub>2</sub> del agua y aumentando su basicidad. Por otro lado, los valores de conductividad se encontraron en el rango 2,41 mS/cm – 14,83 mS/cm. Cuatro estaciones, M1, M3, M6 y M13, presentan correlación entre conductividad y STD en el mes de diciembre.
- Los valores altos de STD pertenecen a la estación M1, M5 y M13. Los valores de STD en las lagunas se encontraron en el rango 1207 ppm - 7921 ppm, lo cual califica al agua de las lagunas como aguas salobres y altamente salobres, lo que hace suponer una mezcla de agua dulce con agua de mar mediante posibles canales subterráneos.
- Las lagunas se encuentran en un estado hipereutrófico, pues los valores de fósforo en las lagunas se encuentran en el rango 0,29 ppm – 6,78 ppm y con estos valores se clasifican a las lagunas en estado hipereutrófico, es decir, la tasa de entrada de P a las lagunas está siendo mucho mayor a la que el humedal puede transformar. Así mismo, los valores de nitrógeno en las lagunas se encuentran en el rango 2,2 mg/L – 56,6 mg/L. Esos valores están por encima de concentraciones de nitrógeno en un lago eutrófico, sobre todo las lagunas Sur (M1) y Anap (M2).



## 6. RECOMENDACIONES

- Para tener un mejor diagnóstico de la calidad del agua de las lagunas de Los Pantanos de Villa se recomienda analizar los sedimentos presentes en cada estación de monitoreo. Con ellos se podrá estimar la concentración de nutrientes que sedimenta y así completar el análisis del humedal. Además, es necesario tener mediciones de otros parámetros como oxígeno disuelto, por su influencia en la biodegradación de detergentes; carbonatos, por su relación con la conductividad; sólidos suspendidos, por las sales en suspensión; y hierro, por su relación con el fósforo. Con estos parámetros se puede tener información sobre las fuentes de contaminación de la zona de estudio.
- En la determinación de detergentes es imprescindible filtrar las muestras antes de iniciar la extracción, pues el material particulado adsorben los MBAS y no permite su detección en el espectrofotómetro UV. En la determinación de fósforo disuelto y total se recomienda no usar los mismos materiales para otros análisis, pues este método es muy susceptible a la contaminación cruzada.
- Con respecto a la protección de las lagunas de los Pantanos de Villa, es importante no sólo monitorear la calidad del agua de las lagunas, sino también vigilar permanentemente la calidad del agua de los canales que abastecen a las lagunas para mejorar las características ecológicas de los Pantanos teniendo en cuenta que es la única reserva en Lima Metropolitana. Es necesario mantener el monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos que permitan establecer las variaciones en las características del humedal y así poder identificar las causas de la alteración.
- En el manejo del humedal es importante la participación de todos los actores relacionados a Los Pantanos de Villa. La población es el principal actor en la preservación del humedal. El uso de los canales de abastecimiento para actividades de lavado se debe, muchas veces, a la falta de suministro de agua potable en la zona. Por ello, es importante considerar la mejora de la calidad de vida de los pobladores y así no tengan que recurrir al uso del agua de los canales.
- Para mejorar la calidad de las lagunas, se recomienda tomar como ejemplo la recuperación del humedal El Cascajo, ubicado en Huaral. Este humedal estuvo siendo usado por mucho tiempo como depósito de desechos orgánicos, lo que causó una severa contaminación en las lagunas. Fue recuperado mediante el sistema de nanoburbujero y biofiltros, donde las bacterias y metales son atraídas hacia las nanoburbujas, que luego desaparecen y sueltan radicales libres que

descomponen la materia orgánica, finalmente se coloca biofiltros y se va implementando una limpieza del lago. Este sistema permitió descender en los primeros meses el nivel de nitrógeno total de 160 mg/L a 23,7 mg/L y de fósforo total de 10,5 mg/L a 2,5 mg/L (Morianka 2012), descendiendo aún más en los meses siguientes. Esta experiencia de recuperación puede ser implementada en las lagunas de los Pantanos de Villa, pues algunas lagunas presentan concentraciones de nutrientes similares a las encontradas en el humedal El Cascajo.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre N., Palacios J., Ramírez J.; 2007. "*Características Limnológicas del Embalse el Peñol-Guatapé, Colombia*". Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Volumen 6, número 10, pp. 53-66.
- Altamajer D. 2004. "*Formulación Detergentes Biodegradables: Ensayos de Lavado*". Tesis de doctorado en Ingeniería Química. Granada. Departamento de Ingeniería Química. pp.16-27.
- Álvarez P., Santiago C.; 2006. "*Ausencia de Biotoxina Ácido Domoico en los Pantanos de Villa. Chorrillos, Perú*". Ecología Aplicada. Volumen 5, número 1 y 2, pp. 167- 170.
- APHA. 2540 C: Total Dissolved Solids Dried at 180°C. "*Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*".20 Ed. American Public Health Association. 1998
- Aranda A. 1998. "*Testimonios sobre los Pantanos de Villa*", Lima: Ediciones Alternativa. pp. 51-71.
- Becerra L., Horna M., Barrionuevo K. 2014."Niveles de contaminación en de los efluentes provenientes de camales de la región Libertad". Revista de Cuerpo Médico del HNAA, Volumen 7, número 3, pp. 23-26.
- Blanco D. 2000. "*Los Humedales como Hábitat de Aves Acuáticas*" (en línea) Unesco. Portal de ciencias ambientales. Consulta: 02 de octubre del 2014. (<http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/13.pdf>)
- Britton L. 1998. "*Surfactants and the Environment*".AOCS Press Journal of Surfactants and Detergents.Volumen1, número 1, pp.109 -117.
- Broze G. 1999 "*Handbook of Detergents Part A: Properties*". New York: Marcel Dekker, Inc. pp. 1-150.
- Campbell N., Mitchel L., Reece J. 2009."Biología: Conceptos y Relaciones". San Francisco: Pearson Benjamin Cummings. pp. 230-240
- Cano A., Young K. 1998."Los Pantanos de Villa, biología y conservación" Lima: UNMSM, Museo de Historia Natural. pp. 20-50.

Carranza R. 2001. "*Medio Ambiente: Problemas y Soluciones*". Lima: Universidad Nacional del Callao. pp. 50-75

Centro de Datos para la Conservación (CDC). 1996. "*Propuesta para la Designación de Cuatro Nuevos Sitios RAMSAR*". Ficha técnica: Zona reservada los Pantanos de Villa. UNALM. Lima. Perú. pp. 2-30

Chan A.; Evans F.; Cussler E. 1976 "*Explaining Solubilization Kinetics*". AIChE Journal, Volumen 22, número 6, pp. 1006-1012.

Committee on Characterization of Wetlands. 1995 "*Wetlands: Characteristics and Boundaries*". Washington, DC: The National Academies Press. pp. 20-42.

Curtis R., Panchabi V. 2009. "*Biogeochemical Dynamics II: Cycling and Storage of Phosphorus in Wetlands*". The Wetlands Handbook. pp. 228-244

Cutel W., Kissa E. 1987, "*Detergency: Theory and Technology*". Surfactant science series. New York. Dekker. Volumen 20, pp. 2-90.

Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., Andrade M. 2010. "*Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*" (en línea). Portal del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Consulta el 02 de Marzo del 2015 ([http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf))

DIGESA. 2005. "*Pantanos de Villa*". Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos – Registro de datos. Ministerio de Salud. Lima- Perú.

DIGESA. 2006. "*Pantanos de Villa*". Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos – Registro de datos. Ministerio de Salud. Lima- Perú.

DIGESA. 2007. "*Pantanos de Villa*". Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos – Registro de datos. Ministerio de Salud. Lima- Perú.

DIGESA. 2008. "*Pantanos de Villa*". Vigilancia de la calidad de los Recursos Hídricos – Registro de datos. Ministerio de Salud. Lima- Perú.

Escuela Organización Industrial de España. 2008. "*Los Vertidos de los Mataderos e Industrias Cárnicas*". Consulta el 16 de marzo del 2015 ([http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48153/componente48151.pdf))



Grupo de Emprendimientos Ambientales (GEA). 2004. "*Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: Geo Lima y Callao*". Lima. GEA. pp. 104-109.

Greenberg A. 1992. "*Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater*" Washington, D.C.: American Public Health Association.

Gonzales-Mazo E., Forja J., 1998 "*Fate and Distribution of Linear Alkylbenzene Sulfonates in the Littoral Environment*" Environmental Science and Technology. Volumen 32, pp. 1636 – 1641.

Gorson A., Muller W., Gysman N., Marshall S., Sparham C, O'connor S., Whelan M. 2009. "*Effect of Laundry Activities on In-stream Concentrations of Linear Alkylbenzene Sulfonate in a Small Rural South African River*". Science of Total Environment. Volumen 407, pp. 4465-4471

Guillén G. 2002. "*Diversidad Protozoológica de los Pantanos de Villa, Chorrillos. Lima-Perú*". Tesis de licenciatura en Biología. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela de Ciencias Biológicas. pp. 58-67.

Insua D., Perez C., Morales A., Valera Z., Meneses A., 2010. "*Evaluación Ecotoxicológica de Detergentes Comerciales y Naturales, Como Criterio de Contaminación Ambiental*". REDVET, Volumen 11, Número 03B, pp. 1-9.

International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products (A.I.S.E). 2006. "*El Nuevo Reglamento de Detergentes: Hoja de Datos acerca de la Biodegradación Aeróbica de Tensioactivos*" (en línea). Portal A.I.S.E. Consulta: el 16 de marzo del 2015. (<https://www.aise.eu/library/publications.aspx>)

Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2010. "*Mapa del Déficit de Agua y Saneamiento Básico a Nivel Distrital, 2007*" (en línea). Portal INEI. Consulta: el 15 de Noviembre del 2015. ([https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0867/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0867/libro.pdf)).

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. "*Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N° 103*" Roma: FAO, pág. 81-83.

Jain S., Singh V. 2003. "*Water Resources Systems Planning and Management*". ELSEVIER. The Netherlands. pp. 99-107

Jimenez R., Godfrey C., Alcalde M., Germaná C. 2010 "*Humedales en la Costa Peruana*" 1era edición. Lima: PRO NATURALEZA. pp.6-30.

Journal of Chemical Education Staff. 1978 "*Household Soap and Detergents*" Chem. Supplement, Volumen 55, número 9, pp. 596-597

Keith L. 1996. "*Principles of Enviromental Sampling*". Washington: American Chemical Society. pp.145-152.

Kruger C., Radakovic K., Sawyer T., Barber L., Smith R., Field J. 1998 "*Biodegradation of the Surfactant Lineal Alkylbenzenesulfonate in Sewage-Contaminated Groundwater: A Comparison of Column Experiments and Field Tracer Tests*". Environmental Science and Technology 32, pp. 3954 – 3961.

Kruger C., Field J. 1995 "*In-Vial Cle Empore Disk Elution Coupled with Injection port Derivatization for the Quantitative Determination of Linear Alkylbenzenesulfonates by GC-FID*" Analytical Chemistry, 67, pp.3363 – 3366.

Loayza M., 2005. "*Los Pantanos de Villa*". Eco Mundo. Lima. Volumen 1, pp.1-2.

Manahan S.; 2010 "*Environmental Chemistry*" 9th Edition. New York: CRC Press. pp.77-80.

Malagriño W., Almeida A., 1987. "*Estudo Comparativo de Acao Tóxica de um Detergente Biodegradável sobre Poecilia Reticulata e Poecilia Vivípara (Pises: Poecilidade)*". Revista DAR. Volumen 148, número 47, pp. 86-91.

Margalef R. 1974. "*Ecología*" Barcelona: Editorial Omega, pág 951.

Marín R. 1995. "*Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones*". Barcelona: Gestió i Promoció Editorial, S.A. pp.301-402

Ministerio de Agricultura 1996. "*Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú*". INRENA-UNALM-PRONATURALEZA

Ministerio de Agricultura 1996. "*Zona Reservada de los Pantanos de Villa. Propuesta para su designación como sitio Ramsar*" INRENA. Lima -Perú.

Ministerio del Ambiente 2015. "*Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*". Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM.

Mitsch J., Gosselink J., 2007 "*Wetlands*" Fourth Edition. New York: Van Nostrand Reinhold. pp. 107-260

Morianka S. Marino. 2012. “*Tratamiento y Transferencia Tecnológica para la Recuperación del Agua y Conservación del Medio Ambiente en el Humedal El Cascajo*” en la República del Perú. Consulta: 30 de marzo del 2015. ([http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012ciencia.nsf/0/0e4a37d3270f8de105257acd006e78c3/\\$FILE/Resumen\\_proyecto.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012ciencia.nsf/0/0e4a37d3270f8de105257acd006e78c3/$FILE/Resumen_proyecto.pdf))

Nimer L.. 2007. “*Estudio del Comportamiento Ambiental del Sulfonato Alquil Benceno Lineal (LAS) en una Parcela Agrícola de la Vega de Granada*”. Tesis de doctorado en Ingeniería Química. Granada. Departamento de Química Analítica. pp. 19-33.

León V., Gómez-Parra A, Gonzalo-Mazo E. 2004. “*Biodegradation of Lineal Alkylbenzene Sulfonates and their degradation intermediates in Seawater*”. Environmental Science and Technology. Volumen 38, pp.2359-2367.

Parra O., Valdovinos C. 2006 “*La Cuenca del Río Biobío. Historia Natural de un Ecosistema de uso Múltiple*” (en línea) Portal del Centro de Ciencias Ambientales EULA. Consulta: 01 de octubre del 2012. (<http://www.eula.cl/images/stories/documentos/3.pdf>)

Ramsar. 2007 “*¿Qué son los Humedales?*” Documento informativo Ramsar N° 1 (en línea) Portal de la convención de los humedales. Consulta: 28 de setiembre del 2012 (<http://www.ramsar.org/pdf/about/info2007sp-01.pdf>)

Ramsar. 2010 “*Uso Racional de los Humedales*”. Manuales Ramsar. Manual 1. Cuarta Edición. pp.8-22.

Ramsar “*Ramsar Sites in Order of their Addition to the Ramsar List of Wetlands of International Importance*” (en línea) Ramsar. Portal de la convención Ramsar. Consulta: 02 de octubre del 2012. ([http://www.ramsar.org/pdf/sitelist\\_order.pdf](http://www.ramsar.org/pdf/sitelist_order.pdf))

Ramsar Convention “*La Convención Ramsar*” (en línea) Ramsar. Portal de turismo Ramsar. Consulta: 02 de octubre del 2014. ([http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-tourismhomeindex/main/ramsar/1%5E25816\\_4000\\_2\\_\\_](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-tourismhomeindex/main/ramsar/1%5E25816_4000_2__))

Ramsar Convention Secretariat, 2013. “*Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales*” 6ª edición. Suiza: Secretaria de la Convención Ramsar. pp. 15-23.

Ramsar Convention Secretariat. 2010. *"Water Purification"* Wetland: ecosystem services. Factsheet 5. Series 10.

Red de Acción en Plaguicida y sus Alternativas para América Latina (RAP-AL) 2010 *"Contaminación y Eutrofización de Agua"*.(en línea). Portal RAPAL Uruguay. Consulta: 14 de octubre del 2014.

(<http://www.rapaluruguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>)

Reddy R., Delaune R. 2008. *"Biogeochemistry of Wetlands. Science and Applications"* New York. CRC Press. pp.103-200.

Reddy R., White J. 2009. *"Biogeochemical Dynamics I: Nitrogen Cycling in Wetlands"*. The Wetlands Handbook. pp. 213-225.

Roberts D. 2000. *"Aquatic toxicity-Are Surfactant Properties Relevant"*. AOCs Press Journal of Surfactants and Detergents. Volumen 3, número 3, pp. 309-315.

Rojas G. *"Manejo y Aprovechamiento del Agua en la Cuenca del río Jequetepeque"*. (en línea) CEPES. Consulta: 18 de mayo del 2011. ([http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manejo\\_integral\\_microcuencas/manejo\\_integral\\_microcuencas13.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manejo_integral_microcuencas/manejo_integral_microcuencas13.pdf)).

Roldan P., Ramirez J. 2008 *"Fundamentos de Limnología Neotropical"*. Colombia. Universidad de Antioquia. pp. 248-250.

Sánchez Ó. 2008. *"Ecosistemas Acuáticos: Diversidad, Procesos, Problemática y Conservación"*. Los escenarios acuáticos. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México pp. 11-36

Salas H. 1996. *"Curso de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales"* – República Dominicana (en línea). Organización mundial de la salud. Portal del Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Consulta: 29 de setiembre del 2012 (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd33/sala13/041477-marcoeutrofizacion.pdf>)

Shewuger M.J., Haegel F. 1994. *"Surfactants and Colloids in the Environment"* New York: Steinkopff Darmstad, pp. 98-100.

SERNANP. 2010. *"Compendio de los Análisis de la Calidad del Agua por Fenómeno de Coloración Rojiza en Espejo de Agua Ubicado en la Zona de Amortiguamiento del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa"* Ministerio del



ambiente. Lima. pp. 10-15. Secretariat Ramsar. "*Terminología Empleadas Corrientemente por la Convención de Ramsar*" (en línea) Portal de la convención de los humedales RAMSAR. Consulta: 29 de setiembre del 2012.([http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-about-glossary-words/main/ramsar/1-36-56-156\\_4000\\_2\\_\\_](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-about-glossary-words/main/ramsar/1-36-56-156_4000_2__))

SERNANP. 2012. "*Sistema Nacional de Áreas Naturales por el Estado Peruano - SINANPE*" Ministerio del ambiente. Setiembre del 2012, pp. 1-2.

Showell S. 2006 "*Handbook of Detergents Part D: Formulation*". New York:Taylor& Francis Group, Inc. pp. 51-100.

Sibila L., Miguel Ál.2008. "*Evaluación de la Biodegradabilidad y Ecotoxicidad de Tensioactivos en el Medio Acuático Marino*". Tesis de doctorado en Ingeniería Química. Cádiz: Universidad de Cádiz. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. pp. 40-60.

Smulders E. 2002. "*Laundry Detergents*". Weihen: Wiley-VCH. pp. 38-60.

Tabor C., Barber L.1996. "*Fate of Linear Alkylbenzene Sulfonate in the Mississippi River*".Environmental Science and Technology. Volumen 30, pp. 161-171.

The Soap and Detergent Association.1994. "*Soap & Detergent: History*" (en línea). Portal de American Cleaning Institute. Consulta: 05 de mayo del 2013([http://www.cleaninginstitute.org/clean\\_living/soaps\\_\\_detergent\\_history\\_3.aspx](http://www.cleaninginstitute.org/clean_living/soaps__detergent_history_3.aspx))

Tolls J.; Haller M.; Seinen W.; Sijm D.; 2000 "*LAS Bioconcentration: Tissue Distribution and Effect of Hardness-Implications for Processes*" Environmental Science Technology.Volumen 34, pp. 304-310.

United Nations Environment Programme.(UNEP) 2005 "*Linear Alkylbenzene Sulfonate*" (en línea) Chemicals Screening Information Dataset (SIDS) for High Volume Chemicals.Consulta: 21 Mayo del 2014. (<http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/oecdids/las.pdf>)

Universidad de Murcia. "*Actividad Microbiana: Productividad en Hábitats Acuáticos*" (en línea). Lecturas obligatorias. Portal de Ecología de aguas continentales. Setiembre. Consulta 29 de setiembre del 2012.(<http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p4productividad.pdf>)

Visitación L. 2004. "*Degradación Fotocatalítica de Detergentes en Efluentes Doméstico*". Tesis de maestría en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados. pp.20-35.

Waldhoff H., Spilker R. 2005 "*Handbook of Detergents Part C: Analysis*". New York: Marcel Dekker, Inc. pp. 216-225.

Water Quality Association. 2010. "*Glossary of Salt Water: Water Classifications*". Consulta el 02 de Marzo del 2015. (<http://www.wqa.org/>)

Westall J. C., Chen H., Zhang W., Brownawell B. J. 1999. "*Sorption of linear alkylbenzenesulfonates on sediment materials*". Environmental Science Technology, Volumen 33, número 18, pp. 3110-3118.

Zhu Y., Rosen J., Morrall W. Tolls J. 1998. "*Surface Properties of Linear Alkyl Benzene Sulfonates in Hard River Water*". AOCS Press Journal of Surfactants and Detergents. Volumen 1, número 2, pp. 187-193

Zoller U. 2004 "*Handbook of detergents Part B: Environmental Impact Surfactant*". New York: Taylor & Francis Routledge, Inc. Pág. 11-40.